L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous?

ACTES
DU COLLOQUE TENU À
RIVIÈRE-DU-LOUP LES 28, 29 et 30 SEPTEMBRE 1999

Colloque organisé par :

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts

Natural Resources Canada
Canadian Forest Service

Québec

CONSEIL DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE DU QUÉBEC

Organisateurs du colloque :

- Ressources naturelles Canada - Service canadien des forêts
  Centre de foresterie des Laurentides
- Ministère des Ressources naturelles - Forêt Québec
  Direction de la recherche forestière
- Groupe d'action en génétique et biotechnologie des arbres
- Conseil de la recherche forestière du Québec

Des copies supplémentaires de ce document sont disponibles au :

Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du P.E.P.S.
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

Téléphone : (418) 648-7927
Télécopieur : (418) 648-2529
Courriel : cbelzile@cfl.forestry.ca

Forêt Québec
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

Téléphone : (418) 643-7994 # 344
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : linda.drouin@mrn.gouv.qc.ca

Numéro de catalogue : Fo42-304/2000F
ISBN 0-662-84341-X

PRÉFACE

Le présent recueil renferme les documents produits pour le colloque «L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous?» tenu à Rivière-du-Loup du 28 au 30 septembre 1999. On y retrouve aussi bien les textes des conférences que les documents ayant servi pour la visite guidée et la séance d'affichage.

Il contient également les faits saillants des discussions de la plénière du 30 septembre au cours de laquelle les participants avaient à répondre à la question : « Comment intégrer l'amélioration génétique aux pratiques forestières? ». On remarquera que ce texte est présenté avant ceux des conférences, et ce, afin de permettre aux lecteurs pressés d'avoir à la fois un aperçu des idées émises lors de la plénière et des contenus présentés par les conférenciers les 29 et 30 septembre.

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Les textes présentés ci-après n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

REMERCIEMENTS

L'idée de tenir un colloque sur l'amélioration génétique des arbres émane du Groupe d'action en génétique et biotechnologie des arbres qui a procédé à la formation d'un comité organisateur en mai 1999. Le colloque « *L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous?* » a été rendu possible par le travail de plusieurs personnes qui ont prêté leur collaboration au comité organisateur. Soulignons tout d'abord le travail des conférenciers et des exposants qui a permis d'offrir un contenu de qualité et leur rapidité à fournir les textes qui ont ainsi pu être disponibles lors du colloque.

En outre, plusieurs personnes ont collaboré à différentes facettes de l'organisation de ce colloque que ce soit pour la gestion de l'inscription, l'animation, la visite guidée, l'exposition et la production des actes. Leur contribution était essentielle et nous leur exprimons notre gratitude.

Il importe aussi de remercier les 150 personnes qui sont venues d'un peu partout au Québec et du Nouveau-Brunswick pour participer à ce colloque.

Le comité organisateur du colloque

100-07186

TABLE DES MATIÈRES

Préface iii

Avertissement au lecteur iv

Remerciements v

Contexte 1

Programme du colloque 2

Plénière
Jean-François Côté, ing.f., M.Sc. - animateur 5

La productivité et les structures organisationnelles chez nos compétiteurs
Ariane Plourde, Ph.D. (texte non disponible) 13

Retour sur le colloque «Le reboisement, un outil pour augmenter la productivité»
François Dumoulin, ing.f., M.F. 25

L'amélioration génétique : concepts de base
Jean Bousquet, ing.f., Ph.D. (texte non disponible) 31

Souper-conférence - Amélioration des arbres : le point de vue de l'industrie sur les défis et les possibilités
Greg W. Adams 35

Les programmes d'amélioration génétique : bilan des réalisations

L'épinette noire
Michel Villeneuve, ing.f., M.Sc. 45

L'épinette blanche
Jean Beaulieu, ing.f., Ph.D. 53

Le pin gris
Marie-Josée Mottet, ing.f. 61

L'épinette de Norvège
Gaëtan Daoust, ing.f. 69

Les mélèzes laricin et hybrides
Ante Stipanicic, ing.f., M.Sc. 77

Le pin blanc
Gaëtan Daoust, ing.f. 87

Les feuillus nobles
André Rainville, ing.f., M.Sc. 95

Les peupliers
Pierre Périnet, ing.f., M.Sc. 107

La production de matériel amélioré génétiquement

Les vergers à graines (voie sexuée)
Luc Masse, ing.f. 117

La recherche sur la reproduction sexuée : le lien incontournable entre l'amélioration génétique et la production de plants
Fabienne Colas, biol., D.E.S.S. 125

Techniques de multiplication par la voie clonale (voie asexuée)
Denise Tousignant, biol., M.Sc. 133

Annexe 1 - Séance d'affichage 143

Annexe 2 - Visite guidée 171

Annexe 3 - Liste des participants 201

Annexe 4 - Membres du comité organisateur du colloque 213

Annexe 5 - Membres du groupe d'action en génétique et biotechnologie des arbres 217

CONTEXTE

Dans l'optique d'accroître le rendement de nos forêts, il importe de positionner l'amélioration génétique des espèces commerciales comme une avenue prometteuse et complémentaire aux activités de reboisement. Pour l'épinette blanche, par exemple, les résultats des études effectuées démontrent que les vergers à graines de deuxième génération offrent, pour la croissance en hauteur, un gain génétique de 15 à 20 % selon le domaine écologique ciblé. Ce colloque vise à présenter, pour chaque espèce forestière commerciale, le programme d'amélioration génétique en cours. On traitera des gains génétiques obtenus à ce jour, de la stratégie d'amélioration génétique en place et des contraintes biologiques et environnementales propres à chaque espèce. La production de matériel génétiquement amélioré sera abordée sous les perspectives des voies sexuée et végétative.

OBJECTIFS

- Faire connaître les résultats de recherche pour les différentes espèces forestières commerciales améliorées génétiquement;

- Susciter l'utilisation de ce matériel dans un contexte de rendement accru;

- Favoriser un échange entre les utilisateurs et les chercheurs sur les besoins des forestiers et les possibilités offertes par l'amélioration génétique;

- Fournir aux forestiers l'opportunité de participer à l'identification des principaux axes de recherche pour les prochaines années.

CLIENTÈLES VISÉES

Les gestionnaires et intervenants intéressés par l'amélioration génétique, en particulier ceux de l'industrie forestière, du ministère des Ressources naturelles du Québec, des pépinières, vergers à graines et organismes oeuvrant en forêt privée.

PROGRAMME DU COLLOQUE

MARDI 28 SEPTEMBRE 1999

19 h 00 Accueil et inscription

20 h 00 Mot de bienvenue
Jacques Saint-Cyr, directeur,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

MERCREDI 29 SEPTEMBRE 1999

8 h 00 Ouverture du colloque
Modératrice : **Ariane Plourde**, Ph.D., directrice du Programme de biologie forestière,
Service canadien des forêts - Québec

8 h 15 *La productivité et les structures organisationnelles chez nos compétiteurs*
Ariane Plourde, Ph.D.,
Service canadien des forêts - Québec

8 h 30 *Retour sur le colloque «Le reboisement, un outil pour augmenter la productivité »*
François Dumoulin, ing.f., M.F.,
Donohue inc.

8 h 45 *L'amélioration génétique : concepts de base*
Jean Bousquet, ing.f, Ph.D.,
Centre de recherche en biologie forestière,
Université Laval

9 h 15 Départ pour la visite guidée
- *Test de descendance d'épinettes blanches (1980);*
- *Test clonal de peupliers hydrides (1996);*
- *Test de descendance d'épinettes de Norvège (1992);*
- *Test de descendance d'épinettes noires (1990).*

18 h 00 Arrivée à Rivière-du-Loup

19 h 30 Souper-conférence
Tree Improvement: An industrial Perspective of Challenges and Opportunities
Greg W. Adams,
J. D. Irving Limited

JEUDI 30 SEPTEMBRE 1999

Les programmes d'amélioration génétique : bilan des réalisations

8 h 00 Introduction
Modérateur : **François Dumoulin**, ing.f., M.F.,
Donohue inc.

8 h 15 *L'Épinette noire*
Michel Villeneuve, ing.f., M.Sc.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

8 h 45 *L'Épinette blanche*
Jean Beaulieu, ing.f., Ph.D.,
Service canadien des forêts - Québec

9 h 15 *Le Pin gris*
Marie-Josée Mottet, ing.f.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

9 h 30 Pause et séance d'affichage

10 h 00 *L'Épinette de Norvège*
Gaëtan Daoust, ing.f.,
Service canadien des forêts - Québec

10 h 30 *Les Mélèzes laricin et hybrides*
Ante Stipanicic, ing.f., M.Sc.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

11 h 00 *Le Pin blanc*
Gaëtan Daoust, ing.f. et **Jean Beaulieu** ing.f., Ph.D.,
Service canadien des forêts - Québec

11 h 20 *Les feuillus nobles*
André Rainville, ing.f., M.Sc.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

11 h 50 Dîner et séance d'affichage

13 h 30 *Les peupliers*
Pierre Périnet, ing.f., M.Sc.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

La production de matériel amélioré génétiquement

14 h 00 *Les vergers à graines (voie sexuée)*
Luc Masse, ing.f.,
Direction de la production des semences et des plants,
Forêt Québec

14 h 20 *La recherche sur la reproduction sexuée : le lien incontournable entre l'amélioration génétique et la production de plants*
Fabienne Colas, biol., D.E.S.S.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

14 h 30 *Techniques de multiplication par la voie clonale (voie asexuée)*
Denise Tousignant, biol., M.Sc.,
Direction de la recherche forestière,
Forêt Québec

15 h 00 Pause et séance d'affichage

15 h 15 Synthèse et plénière
«Comment intégrer l'amélioration génétique aux pratiques forestières?»
Animateur : **Jean-François Côté**, ing.f., M.Sc.,
Consultants forestiers DGR inc.

SÉANCE D'AFFICHAGE *(Salle Blondeau)*

Les thèmes suivants feront l'objet de présentations :

- Diversité génétique
- Induction florale
- Vergers sous-abri
- Embryogenèse somatique
- Marqueurs moléculaires
- Génie génétique
- Physiologie des semis
- Choix des sites à reboiser
- Rendement des plantations
- Qualité du bois
- Stratégie d'amélioration
- Résistance aux ravageurs
- Bouturage

PLÉNIÈRE
« COMMENT INTÉGRER L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE AUX PRATIQUES FOESTIÈRES ?»

ANIMATEUR
Monsieur Jean-François Côté, ing.f., M.Sc.
CONSULTANTS FORESTIERS DGR INC .

Plénière
« Comment intégrer l'amélioration génétique aux pratiques forestières? »

N.B. : Le texte qui suit est un résumé des discussions tenues lors de la plénière

1. Faire le pont entre le monde de la recherche et de la production de plants et le monde des utilisateurs des plants améliorés, c'est-à-dire l'industrie et les propriétaires privés

Après un bref retour sur quelques idées maîtresses des présentations, la plénière vise à diriger les discussions autour de trois objectifs :

a) Vers quoi devront s'orienter les travaux des prochaines années (court terme)?

b) Est-ce qu'on est efficace dans nos reboisements actuels (bon choix de site, qualité des plants mis en terre, plants améliorés ou non, bon suivi sylvicole, etc.)?

c) Quels nouveaux moyens doit-on mettre en œuvre pour accroître les rendements en volume, mais aussi en qualité, chez les essences résineuses comme chez les feuillus?

Au colloque de juin 1999 « Le reboisement : un outil pour augmenter la production forestière? », les forestiers se sont convaincus du « pourquoi » il importait de miser sur le reboisement. François Dumoulin, de Donohue inc., en conclut : « D'un rôle limité comme moyen pour corriger l'absence de régénération, le reboisement retrouverait ici le statut de traitement privilégié dans une perspective d'intensification de l'aménagement forestier, que cette intensification soit justifiée pour permettre la création d'aires protégées ou pour assurer le développement futur de l'industrie québécoise ». De là découle naturellement la question : comment concrétiser à grande échelle ces promesses de rendement accru liées à l'utilisation de plants améliorés génétiquement?

D'abord, Ariane Plourde, du Service canadien des forêts, signale que le Québec occupe une position de leader canadien en amélioration génétique, par son expertise scientifique, ses ressources, ses infrastructures et ses collections de matériel génétique. Il faut des politiques de R & D qui assurent un apport continu de financement de ces activités, dont la rentabilité est démontrée. La révision du régime forestier peut être une occasion privilégiée pour voir à consolider nos acquis dans ce domaine de pointe.

Jean Bousquet, du Centre de recherche en biologie forestière, nous laisse sur deux messages, après un magistral exercice de vulgarisation sur les activités d'amélioration et celles de la production des semences en vue du reboisement. P = G + E, soit : le phénotype est la résultante du génotype et de l'environnement. Lors du colloque de juin dernier, Jean Beaulieu, du SCF, disait plus explicitement :

« Quelle que soit la stratégie d'amélioration utilisée ou encore la qualité génétique des variées améliorées produites, il est essentiel de comprendre qu'on ne peut espérer obtenir les rendements prédits par la science de la génétique sans l'apport d'une sylviculture intensive. Le concept est simple. Un génotype ne pourra exprimer son plein

potentiel que si on lui offre les conditions nécessaires à sa pleine expression. Ainsi, la meilleure variété améliorée ne suppléera jamais à un mauvais choix de site. De même, une compétition indue de la part d'essences compagnes ou encore une éclaircie non pratiquée ou réalisée trop tard nuira à l'expression optimale du génotype et ne permettra pas d'obtenir le rendement escompté ».

L'autre message laissé par Jean Bousquet, c'est qu'il faut démontrer d'une façon simple l'impact économique de la production de bois et ainsi mettre en évidence la grande rentabilité des efforts d'amélioration génétique visant à augmenter le rendement et la qualité. Là-dessus, les économistes nous diront que l'État est plus concerné par le maintien d'une économie régionale basée sur les ressources que par un rapport bénéfice/coût significativement fort. Avec l'utilisation accrue de plants génétiquement supérieurs, les impacts sont favorables à tous les niveaux!

2. Les attraits de nos principales essences améliorées

- Épinette noire : l'essence la plus reboisée (55 % du total), elle est relativement moins productive que les autres essences. En deuxième génération d'amélioration, en plus de poursuivre la sélection sur les gains de croissance, des critères de qualité (ex. : l'uniformité de la densité) sont retenus.

- Épinette blanche : en peuplement naturel, elle peut produire 4,6 m^3/ha-an. En plantation, on a observé jusqu'à 7 m^3/ha-an. À peine 5 % du territoire forestier reboisé en Epb suffirait à produire les 30 M m^3/an consommés par l'industrie québécoise!

- Pin gris : ses gains sont plus modestes, mais l'essence compte tout de même pour 20 % de l'effort annuel de reboisement. Elle a une meilleure aptitude que d'autres essences pour occuper des sols plus pauvres (sables secs et profonds). On anticipe 5 m^3/ha-an en plantation.

- Épinette de Norvège : les rendements observés pour l'épinette de Norvège peuvent varier de 4,6 à 9,3 m^3/ha-an. On travaille maintenant avec des populations d'amélioration d'arbres plus résistantes au charançon, et sur des critères de constance de la densité radiale.

- Mélèze laricin et hybrides : le mélèze laricin, quoique moins productif, est utilisé sur des sols pauvres et humides. Les mélèzes hybrides peuvent être cultivés en courtes rotations et produire 300 m^3 à 30 ans, sur des sols acides. L'offre pour ce matériel amélioré ne suffit pas à la demande, présentement.

- Pin blanc : on travaille à renverser la détérioration du pool génétique en enrichissant les collections d'amélioration avec des provenances extérieures au Québec. L'embryogenèse somatique est au point pour cette essence. On compte presque exclusivement sur le reboisement pour régénérer cette essence.

- Feuillus nobles : l'industrie québécoise du sciage et déroulage de feuillus durs est en croissance. La qualité des tiges est très importante, et ces essences ont une grande valeur commerciale. L'amélioration génétique vise plusieurs espèces à la fois : faudra-t-il se restreindre à quelques-unes seulement? Il faudra apporter une attention spéciale à la sylviculture des feuillus durs.

- Peupliers : nécessité de bien préparer le terrain et de dégager les plants en jeune âge. Les coûts sur 3 ans peuvent atteindre 1 500 à 2 500 $/ha, mais les rendements à 20 ans sont de l'ordre de 10 m^3/ha-an.

3. Coup d'œil sur la production de matériel amélioré

Luc Masse nous indique qu'environ 35 % des plants présentement utilisés pour le reboisement sont de source améliorée; on en aura 81 % en 2005 et 97 % en 2010 (en maintenant un niveau de reboisement à 150 M plants/an). Il faudra sensibiliser les utilisateurs à l'effet qu'ils travaillent avec des arbres-plus, et qu'il faudrait en prendre un soin particulier (suivi sylvicole) pour que ces arbres expriment leur plein potentiel. Une démonstration basée sur les coûts et les bénéfices directs montre que c'est très rentable de reboiser avec des plants améliorés. Il faut divulguer ce genre de démonstration! D'autre part, si l'effort de reboisement devait être accéléré dès aujourd'hui, la capacité estimée des vergers à graines pourrait répondre à une demande de 620 millions de plants par année.

Fabienne Colas et Denise Tousignant ont couvert des aspects plus techniques de reproduction sexuée et végétative, dans le cadre de l'amélioration des essences. Certaines espèces se prêtent bien au bouturage, d'autres au greffage et d'autres encore à l'embryogenèse somatique. Il reste à perfectionner certaines techniques et à mettre à une échelle opérationnelle divers systèmes.

4. Quelques références sur les retombées du reboisement

- En regroupant la production de plants, la préparation de terrain, la mise en terre et l'entretien mécanique, on obtient l'équivalent d'un emploi saisonnier à tous les 4 à 5 ha traités.

- La transformation du bois procure un emploi par tranche de 325 m^3 (en considérant les emplois directs, indirects et induits).

- Chaque mètre cube récolté et transformé entraîne des retombées financières, aux deux paliers de gouvernement, de l'ordre de 70 $/$m^3$, sans parler des revenus aux entreprises.

5. Des pistes pour intégrer l'amélioration génétique aux pratiques forestières

- Entre les montants perçus par l'État sous forme de redevances forestières et ceux réinvestis dans le secteur forestier, des sommes importantes (dizaines et centaines de millions de dollars) sont retournés au Conseil du Trésor et ne servent pas la cause du financement d'activités reliées à la production forestière. Le monde forestier doit faire la preuve que les retombées qu'il génère sont majeures et qu'il peut faire davantage si on lui réinjecte une plus grande part des sommes qu'il procure à l'État.

- Le rendement accru, un thème très à la mode en ce moment, va devoir recourir au reboisement, et les plants améliorés et une sylviculture intensive y ont leur place.

- La loi ne permet pas actuellement à des bénéficiaires de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) de réaliser des travaux

admissibles en paiement des droits de coupe, si ces travaux ne contribuent pas immédiatement à hausser le niveau de la possibilité forestière. Les industriels hésitent à faire des travaux à leurs frais sur les forêts publiques s'ils ne sont pas sûrs d'en récolter les fruits à long terme. Il y aurait sans doute lieu de créer de meilleurs incitatifs à hausser le rendement en les insérant au texte de loi.

- Le programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier permet déjà, au Volet 2, d'aménager des territoires privés ou intramunicipaux et faire créditer ces travaux en paiement de droits de coupe. C'est une belle initiative et elle pourrait faire l'objet d'un financement de beaucoup supérieur, compte tenu de l'ampleur des redevances forestières, et compte tenu du faible niveau de financement de la forêt privée. On y trouve les meilleurs sites, de nombreux hectares en friche ou sans valeur, et la proximité de la main-d'œuvre et des centres de transformation du bois. C'est la forêt habitée.

- Lors d'une conférence devant le Regroupement des sociétés d'aménagement du Québec (RESAM) en août 1999, le ministre Brassard est venu dire que la révision du Régime forestier était une excellente occasion de mettre ces choses sur la table, en parlant de rendement accru, d'amélioration de qualité et de productivité, afin que la forêt demeure une ressource renouvelable, structurante pour l'économie des régions.

- Gilles Vallée souhaite qu'on exploite au maximum le matériel amélioré génétiquement, qu'on prenne un plus grand soin à la préparation de terrain, à la mise en terre et au suivi sylvicole pour que les arbres expriment pleinement leur potentiel supérieur. En faisant ainsi, on réaliserait qu'on peut raccourcir les âges de rotation, tout en atteignant des dimensions respectables pour le sciage ou le déroulage, selon les essences. Il est temps de passer à des projets pilotes et d'utiliser des équipements adéquats pour préparer le sol.

- Jean Nantel (Cartons Saint-Laurent) renchérit à l'idée de choisir les bons sites et de donner les soins requis pour obtenir les rendements escomptés des plants améliorés. Comme utilisateur de mélèze, il s'inquiète de la relève au départ du chercheur Ante Stipanicic du MRN. Par ailleurs, les compagnies qui possèdent de grandes propriétés privées souhaiteraient aussi que de nouvelles formes de financement leur permettent de réaliser davantage de travaux sur ces terrains.

- Sylvain Arès (Tembec) prétend aussi que la préparation de terrain est souvent déficiente, mais que la herse forestière fait un bon travail. Il n'est pas en mesure d'identifier, à travers les lots de plants à reboiser sur son CAAF, ceux qui originent d'amélioration génétique et il le déplore. Il déplore aussi le manque de ressources humaines en entreprise, du côté de la sylviculture et du suivi des travaux.

- Luc Masse (MRN) précise que le numéro de provenance lié à chaque lot de plants peut indiquer s'il s'agit de plants améliorés. Mais il y aurait moyen de rendre cela plus visible ou mieux connu pour que le reboiseur sache que ce qu'il met en terre a déjà une valeur ajoutée.

- Jean Ménétrier (MRN) : la première chose à faire pour vendre le reboisement avec des plants améliorés, c'est de les identifier. Ensuite, c'est de bien les planter, sur les bons sites, et de les entretenir. Et il convient encore d'insister sur l'importance de développer les équipements appropriés pour faire une préparation de terrain moins

« superficielle ». L'idée de remettre en production les friches ou de convertir les forêts dégradées en région habitée continue de séduire. En soi, toute cette activité, vue par de plus en plus de gens des zones habitées, créerait une autre industrie parallèle pour développer des machines, des réparateurs, des mécaniciens, etc., augmentant du coup les retombées dans le milieu.

- Alain Dancause (MRN) : les résultats sont extraordinaires, et il faut s'empresser de les diffuser auprès des ingénieurs et techniciens forestiers, dans les groupements, les syndicats et dans l'industrie forestière. Il faut aller dire au monde que des retombées de 5 à 9 m^3/ha-an sont à notre portée dans le cas des résineux, et de 15 à 20 m^3/ha-an chez certains peupliers. Il faut diffuser nos résultats de façon simple auprès des décideurs, au niveau politique... par exemple lors de la commission parlementaire sur les forêts au printemps 2000.

- Jacques Bégin (AMBSQ) : L'industrie souhaite vivement passer au mode de rendement accru, compte tenu de toutes les pressions qui vont l'obliger à réduire les superficies destinées à la production de matière ligneuse. Il faudra être prudent et déployer une stratégie qui évite de reboiser le même clone dans un bloc de 100 ha! Un peu de diversité génétique est une meilleure protection contre les insectes et les maladies.

  Avec l'ouverture apportée par la révision du Régime forestier, profitons aussi de l'occasion pour permettre plus de latitude aux forestiers, et passer outre la norme dans certains cas particuliers : ne pas faire de la coupe de protection de la régénération et des sols partout, recourir davantage au reboisement, juger de la meilleure densité de plants à mettre à terre, etc.

  Diffusons auprès des producteurs privés les gains formidables que promet une plantation issue de plants améliorés pour que l'argent investi dans les agences de mise en valeur des forêts privées y soit canalisé. Allons dire à tout le Québec qu'on a développé des plants génétiquement supérieurs, qu'on est d'avant-garde dans ce domaine.

- Michel Rioux (Pépinière de Saint-Modeste) : les industriels investissent beaucoup à améliorer leurs équipements de production, pour s'adapter au petit bois, par exemple. Des sommes pourraient tout aussi bien être consacrées à produire des arbres plus gros, à la place.

- François Dumoulin (Donohue) : il faut être capable de parler en signe de piastre par en haut (auprès des décideurs politiques) et de parler biologie par en bas (auprès des chercheurs). Le colloque a montré un bel effort de vulgarisation des chercheurs auprès des utilisateurs forestiers, et pour être compris dans un éventuel plan de diffusion, il faudra utiliser un vocabulaire facile à comprendre par la population en général.

Mot de la fin (Ariane Plourde)

Le Québec est réellement un chef de file en génétique et amélioration des arbres. Pour le demeurer, il faut que les sommes d'argent continuent de servir la recherche, et sans doute qu'une part de ce financement peut provenir des redevances forestières versées à l'État pour les utilisateurs de bois.

Continuons à parler des réalisations formidables en ce domaine et du potentiel qui pourrait être exploité, des retombées positives sur l'économie et la société.

Que les décideurs prennent position, qu'ils fassent preuve de vision à long terme, de sorte que l'intégration de l'amélioration génétique aux pratiques forestières contribue à créer plus d'emplois, plus de richesse et à perpétuer nos forêts et leurs multiples valeurs.

LA PRODUCTIVITÉ ET LES STRUCTURES ORGANISATIONNELLES CHEZ NOS COMPÉTITEURS

Madame Ariane Plourde, Ph.D.
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS - QUÉBEC

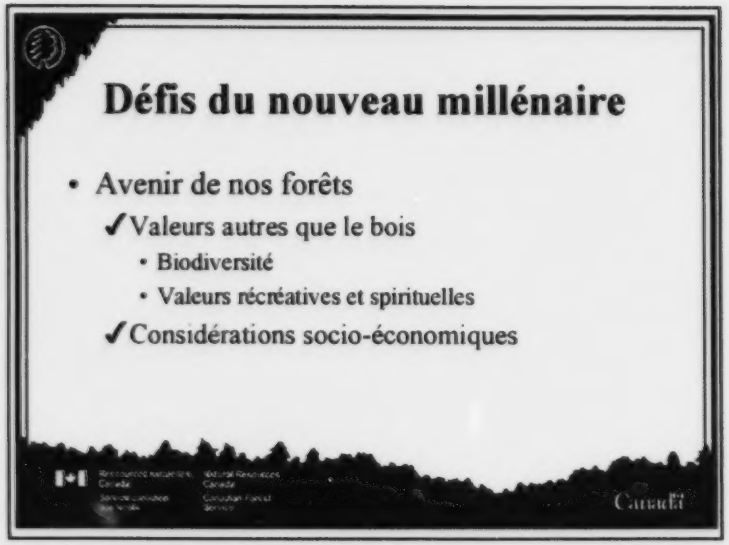
Note : Ce texte n'est pas disponible. À la place, on retrouvera le contenu visuel utilisé par Madame Ariane Plourde lors de sa conférence.

Sujets abordés

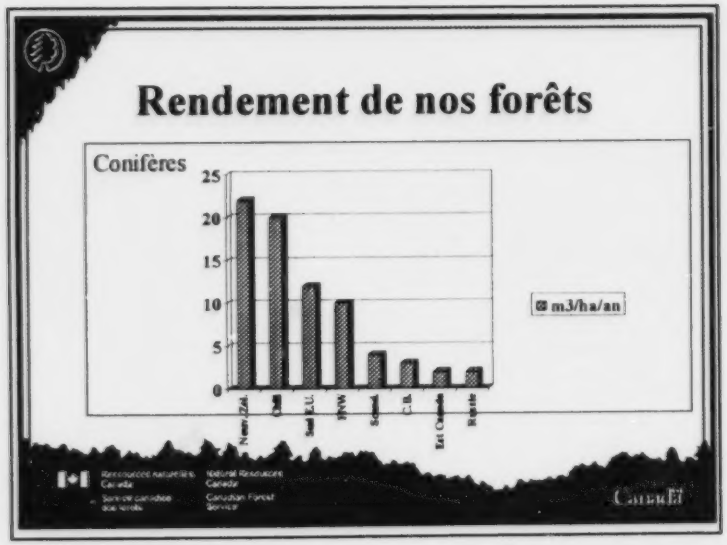
- Défis du nouveau millénaire
- Rendements de nos forêts
- Conditions requises pour gains maximums
- Perspectives d'avenir

Défis du nouveau millénaire

- Avenir de nos forêts
  - ✓la demande mondiale va doubler
    - d 'ici 2010: augmentation de 50%
    - d 'ici 2000: pénurie mondiale


Défis du nouveau millénaire
• Avenir de nos forêts
✓Valeurs autres que le bois
• Biodiversité
• Valeurs récréatives et spirituelles
✓Considérations socio-économiques
Canada

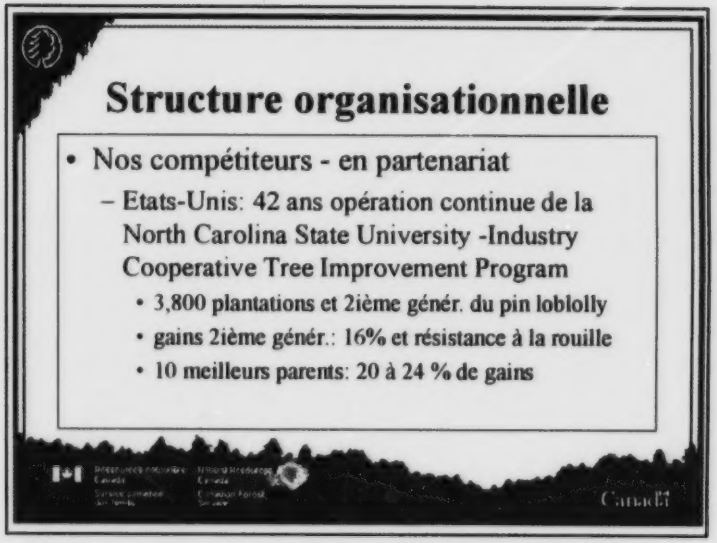
Défis du nouveau millénaire
• Opportunité offerte aux canadiens
✓De concilier les besoins socio-économiques reliés à l'industrie forestière et la nécessité de pratiquer un développement durable
• augmenter la productivité sur une portion du territoire
• relâcher la pression sur les forêts naturelles
Canada



Rendement de nos forêts

- Comparaison avec nos compétiteurs
  - Etats-Unis, Nouvelle-Zélande, Australie
    Génétique, Amélioration, Biotech. = Priorités
  - Suède, Finlande, Norvège
    également impliqués
  - Autres comme France
    Priorités révisées- choix stratégique espèces

Rendement de nos forêts
• Comparaison avec nos compétiteurs
Nouveaux joueurs
Chili, Brésil
Autres provinces
Affaiblies= C.B, Ontario
En remontée= Alberta? Engagement des compagnies
Stable?? Québec, Maritimes

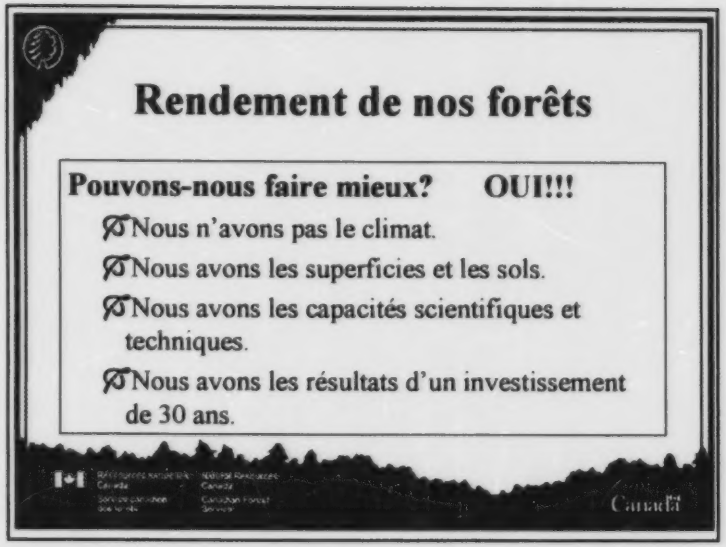

Structure organisationnelle
• Nos compétiteurs - en partenariat
– Etats-Unis: 42 ans opération continue de la North Carolina State University -Industry Cooperative Tree Improvement Program
• 3,800 plantations et 2ième génér. du pin loblolly
• gains 2ième génér.: 16% et résistance à la rouille
• 10 meilleurs parents: 20 à 24 % de gains

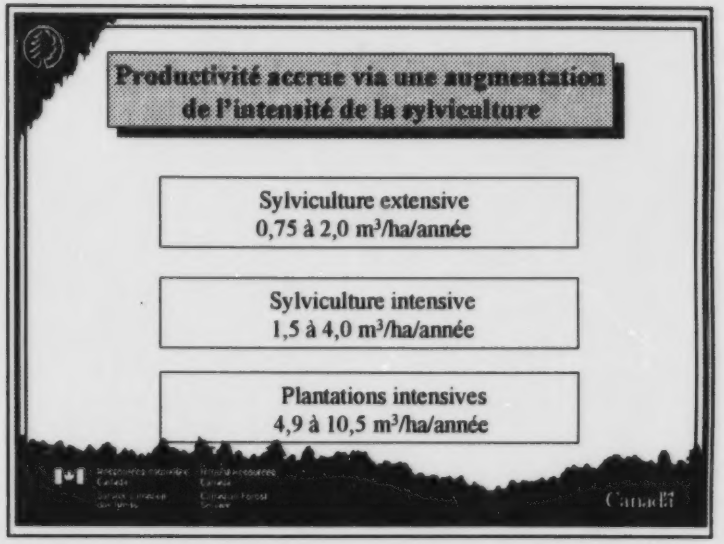
Structure organisationnelle

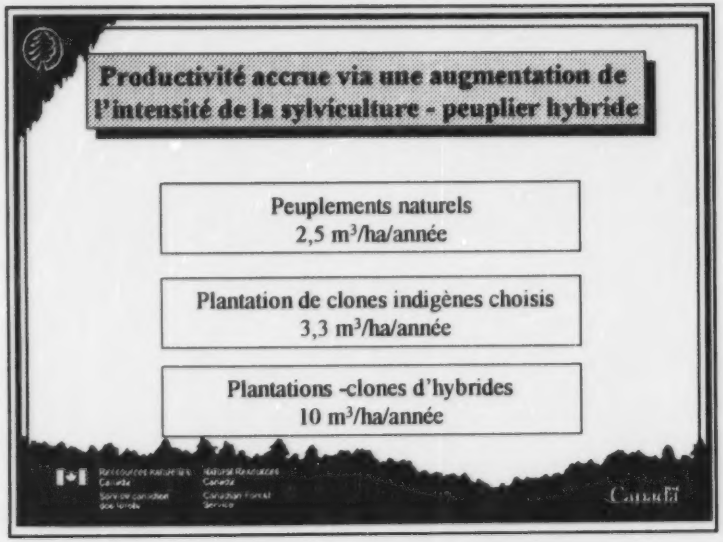
- Nos compétiteurs - Etats-Unis
  - North Carolina State University -Industry Cooperative Tree Improvement Program
    - 20 compagnies membres (Bowater, Westvaco, MacMillan, International Paper etc..)
  - Cooperative Forest Genetics Research Program, University of Florida - 41 ans

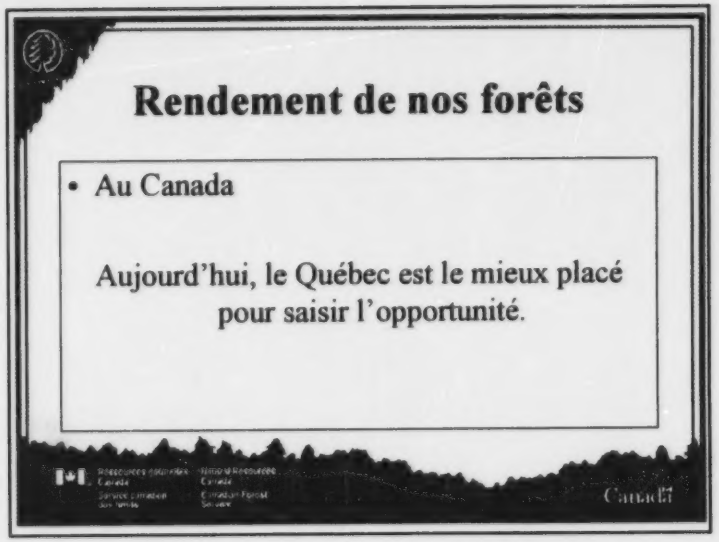
Structure organisationnelle

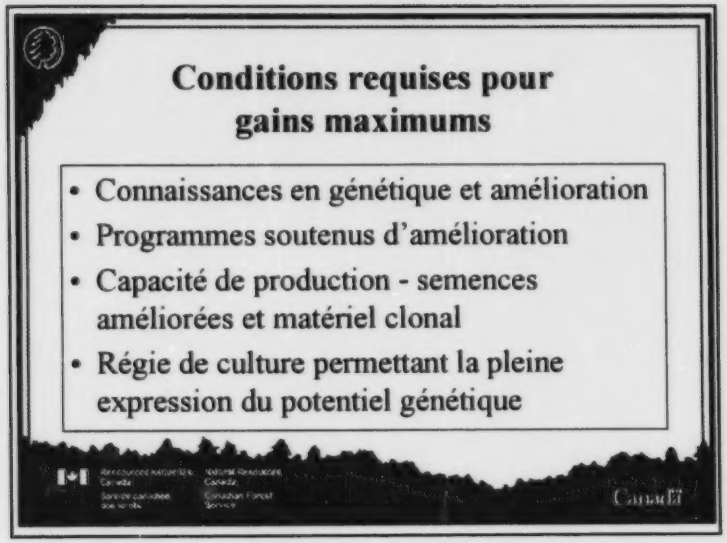
- Nos compétiteurs - Etats-Unis
  - Pinus elliotti (slash pine) et Pinus taeda (loblolly pine): resistant stock 25 and 32 % more volume than susceptible stock at age 20 and 25.
  - 12 organisations membres (Champion International corp, International Paper, Weyerhaeuser)

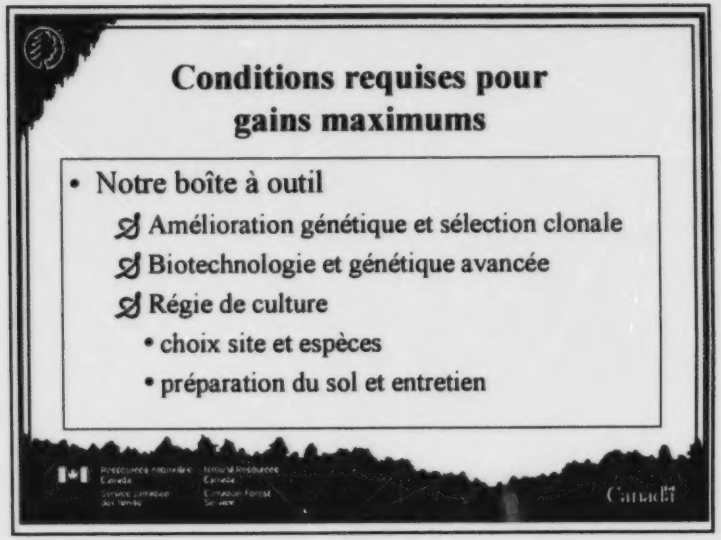

Rendement de nos forêts
Pouvons-nous faire mieux? OUI!!!
Nous n'avons pas le climat.
Nous avons les superficies et les sols.
Nous avons les capacités scientifiques et techniques.
Nous avons les résultats d'un investissement de 30 ans.
Canada

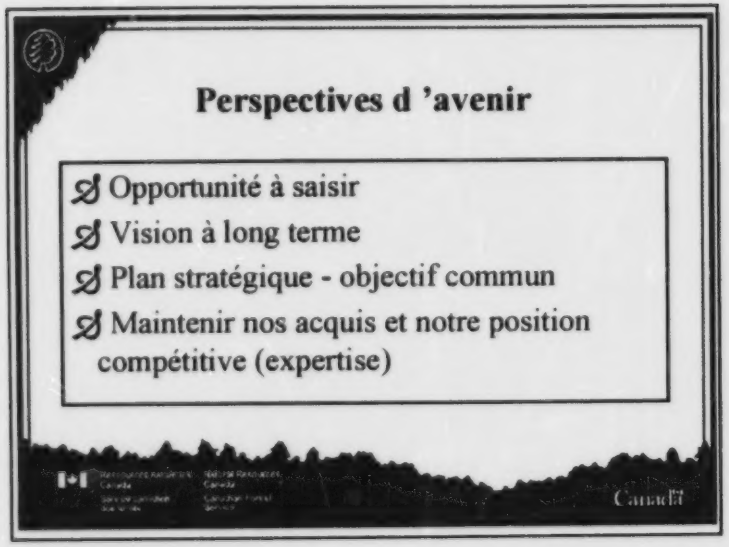

Productivité accrue via une augmentation de l'intensité de la sylviculture
Sylviculture extensive
0,75 à 2,0 m³/ha/année
Sylviculture intensive
1,5 à 4,0 m³/ha/année
Plantations intensives
4,9 à 10,5 m³/ha/année
Canada


Productivité accrue via une augmentation de l'intensité de la sylviculture - peuplier hybride
Peuplements naturels
2,5 m³/ha/année
Plantation de clones indigènes choisis
3,3 m³/ha/année
Plantations -clones d'hybrides
10 m³/ha/année
Canada


Rendement de nos forêts
• Au Canada
Aujourd'hui, le Québec est le mieux placé pour saisir l'opportunité.
Canada


Conditions requises pour gains maximums
• Connaissances en génétique et amélioration
• Programmes soutenus d'amélioration
• Capacité de production - semences améliorées et matériel clonal
• Régie de culture permettant la pleine expression du potentiel génétique
Canada


Conditions requises pour gains maximums
• Notre boîte à outil
Amélioration génétique et sélection clonale
Biotechnologie et génétique avancée
Régie de culture
• choix site et espèces
• préparation du sol et entretien
Canada


Perspectives d 'avenir
Opportunité à saisir
Vision à long terme
Plan stratégique - objectif commun
Maintenir nos acquis et notre position compétitive (expertise)
Canada

RETOUR SUR LE COLLOQUE « LE REBOISEMENT, UN OUTIL POUR AUGMENTER LA PRODUCTIVITÉ »

Monsieur François Dumoulin, ing.f., M.F.
DONOHUE inc.

Retour sur le colloque
« Le reboisement, un outil pour augmenter la productivité »

Le colloque sur la génétique et la biotechnologie forestière est en quelque sorte une suite logique du colloque qui s'est tenu à Sainte-Foy les 9 et 10 juin dernier et qui portait sur le reboisement en tant qu'outil pour augmenter la productivité forestière au Québec. Près de 140 personnes ont participé à ce colloque qui avait été organisé par l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec avec la collaboration de plusieurs organisations.

La première journée du colloque fut consacrée à la présentation d'une quinzaine de conférences suivies en soirée par la tenue d'une table ronde sur l'avenir du reboisement au Québec. La seconde journée s'est déroulée sur le terrain avec la visite de neuf sites situés dans les environs de Québec.

Les neuf conférences de la première journée étaient regroupées sous trois grands thèmes :

- La productivité forestière au Québec, contraintes et solutions
- Le reboisement dans un contexte de productivité accrue
- L'amélioration génétique, une valeur ajoutée au reboisement.

M. Jean-Claude Mercier, de Forintek, est venu mettre la table avec un retour sur les notions de productivité et de rendement, suivi d'un survol des principaux facteurs influençant la productivité. Il a conclu en soulevant trois questions concernant l'amélioration de la productivité forestière : Est-ce rentable sur le plan économique? Est-ce faisable sur le plan technique? Est-ce acceptable tant sur le plan social qu'environnemental?

M. David Pothier de la Direction de la recherche forestière de Forêt Québec a suivi avec un survol des principaux traitements sylvicoles susceptibles d'améliorer la productivité forestière des peuplements naturels. Il a fait valoir qu'une simple modification à nos habitudes de récolte, en l'occurrence la protection de la haute régénération, pourrait atteindre et même dépasser la productivité des plantations et ce, à moindre coût.

Pour sa part, M. Guy Prégent, également de la Direction de la recherche forestière de Forêt Québec, a fait la démonstration du potentiel indéniable du reboisement comme moyen d'accroître le rendement de nos forêts en s'appuyant sur des données impressionnantes provenant de plantations qu'il a visitées. Prônant un recours plus important au reboisement, à l'utilisation d'essences plus productives que l'épinette noire et à la sélection des stations les plus fertiles pour le reboisement, il a conclu en affirmant avec une conviction non équivoque que le reboisement constituait vraisemblablement la seule solution pour obtenir un rendement accru important.

M. Jean-François Côté, de DGR, a traité de la rentabilité économique du reboisement. Il a comparé, pour fins d'illustration, les rendements en bois pour trois scénarios avec l'épinette blanches : un peuplement naturel, une plantation entretenue mais non éclaircie et une plantation éclaircie. Les résultats indiquent que la valeur présente nette de la plantation suivie d'une éclaircie est toujours significativement plus élevée que pour le peuplement naturel ou pour la plantation non éclaircie. Il a souligné que la rentabilité du rendement accru pouvait également se mesurer, sur le plan social, en termes d'emplois, à raison d'un emploi pour chaque tranche de 325 m^3 récoltés et transformés.

Pour la dernière conférence de l'avant-midi, M. Tony Zhang, de Forintek, est essentiellement venu nous dire que l'intensification de l'aménagement forestier ne devrait pas avoir qu'un objectif de production de volumes supplémentaires mais devrait viser également la production de bois aux caractéristiques les plus désirables selon les utilisations finales envisagées.

Pour débuter l'après-midi, M. François Trottier de la Direction de l'assistance technique de Forêt Québec a présenté le bilan des résultats des suivis effectués dans les plantations effectuées par le ministère des Ressources naturelles entre 1986 et 1995 dans le cadre de l'effort de remise en production des superficies non ou mal régénérées. En résumé, les résultats démontrent un taux de survie moyen après huit ans de 80% pour les plants cultivés en récipients et de 77% pour ceux produits à racines nues.

Les quatre conférences suivantes ont présenté des exemples concrets de productivité accrue par le reboisement.

M. Pierre Côté, de Produits forestiers Alliance, a parlé de la place qu'occupe le reboisement dans la stratégie d'aménagement forestier mise en œuvre en forêt publique par son entreprise. Il a par la suite décrit un projet de reboisement d'un site de pessière à cladonie situé dans les forêts commerciales d'épinette noire au nord du Lac Saint-Jean. Ce projet constitue un exemple de rendement accru puisque ces superficies seraient autrement considérées improductives.

Pour la forêt privée, M. Jean Paquet, du Syndicat des producteurs de bois du Saguenay – Lac-Saint-Jean, a indiqué que la culture de peupliers hybrides était envisagée comme solution pour combler la baisse de possibilité forestière observée lors de la confection du plan de protection et de mise en valeur de la forêt privée en 1999. Avec un rendement de 160 m^3/ha à 20 ans, la culture de peupliers hybrides pourrait permettre de combler l'écart observé.

M. André Dion, de Cartons St-Laurent, est venu nous entretenir des modalités d'un projet visant le reboisement de quelque 1000 ha par année en mélèzes hybrides dans le cadre d'un programme d'aménagement forestier intensif des terrains privés de son entreprise. Des rotations d'une vingtaine années sont envisagées. Avec des propos souvent colorés, M. Dion a relaté quelques-unes des embûches rencontrées dans la mise en œuvre de ce projet.

Ce tableau d'exemples concrets de productivité accrue par le reboisement a été complété par M. Jean Girard de Abitibi-Consolidated inc. qui est venu présenter le cas des plantations de Grand-Mère. Il a fait l'historique de l'établissement de ces plantations en indiquant au passage comment certaines décisions et certains manques de connaissances ont pu influencer les résultats. Dans les superficies ayant fait l'objet d'un reboisement réussi, les rendements mesurés dépassent en moyenne 5m^3/ha/an alors qu'ils atteignent les 9m^3ha/an sur les meilleurs sites.

Pour compléter cette série de conférences, Messieurs Jean Beaulieu du Service canadien des forêts, Pierre Périnet et Michel Villeneuve, tous deux de la Direction de la recherche forestière de Forêt Québec, sont venus présenter la contribution que l'amélioration génétique pouvait offrir dans une perspective de rendement accru. M. Beaulieu a d'abord tracé un historique du développement de la science de la génétique forestière au Québec. Il a par la suite illustré le potentiel de l'amélioration génétique en utilisant l'exemple des plantations d'épinette blanche de Valcartier qui présentaient un volume moyen de 271 m^3/ha à 34 ans. Il a terminé en soulignant qu'on ne peut obtenir les rendements prédits par la science de la génétique sans l'apport d'une sylviculture intensive.

Pour sa part, M. Périnet a présenté le programme d'amélioration du peuplier au Québec et la culture intensive des essences à croissance rapide. Il a mentionné que le Québec dispose maintenant d'une collection de 50 clones performants et que les infrastructures étaient en place pour produire des boutures de peuplier sur une base opérationnelle. Il a illustré le potentiel du peuplier en indiquant qu'en moyenne, les peupliers cultivés sur des sites de bonne fertilité peuvent produite de 160 à 240 m^3/ha en volume marchand à l'âge de 20 ans. Concernant les mélèzes hybrides, il a mentionné que l'approvisionnement en semences était encore problématique.

Le programme d'amélioration génétique de l'épinette noire, l'essence la plus reboisée au Québec, a fait l'objet de la présentation de M. Villeneuve. Il a traité de la mise en place de l'actuel réseau de 24 vergers à graines de première génération en laissant entrevoir des gains en hauteur à 12 ans qui pourraient atteindre jusqu'à 8%. M. Villeneuve a finalement mentionné que le Québec dispose maintenant de populations de base pour le 2^e cycle d'amélioration qui devrait nous apporter des gains encore plus intéressants.

Pour la soirée, les organisateurs espéraient un débat sur l'avenir du reboisement au Québec. Malgré l'enthousiasme démontré par l'animateur, M. Jacques Gauvin de l'Association des manufacturiers de bois de sciage du Québec (AMBSQ), pour livrer la marchandise, il n'y eut pas vraiment de débat, les opinions émises se recoupant sous plusieurs angles.

Les participants de la table ronde étaient :

- Gérard Szaraz, directeur général du Regroupement des sociétés d'aménagement du Québec
- Jacques Proulx, président de Solidarité rurale
- Léopold Gaudreault, ministère de l'Environnement
- Jacques Tremblay, directeur des programmes forestiers, ministère des Ressources naturelles
- Victor Brunette, directeur général de la Fédération des producteurs de bois du Québec
- François Dumoulin, directeur corporatif de la foresterie chez Donohue inc.

Le botté d'envoi fut donné par M. Szaraz qui a traité notamment de la dimension socioculturelle du reboisement, du potentiel que représentent les terres en friche et de la réticence de certains propriétaires à accepter la réalisation de travaux subventionnés de peur de perdre le contrôle de leur terre. Il a abordé la notion de zonage du territoire forestier productif afin de réduire la pression sur le reste du territoire. Il a enfin souligné que le reboisement et l'aménagement forestier étaient encore perçus comme des dépenses et non comme des investissements.

M. Proulx a parlé des préoccupations des communautés rurales qui dépendent de la forêt. Il a mentionné qu'en région rurale, la forêt est une culture comme les autres, c'est juste plus long. Il nous a dit qu'il fallait savoir diversifier les produits et surtout éviter les monocultures.

M. Gaudreault nous a parlé du reboisement comme d'un outil pour limiter la pression sur les forêts naturelles nordiques en soulevant toutefois les inconvénients associés à cet outil dont sa relative incompatibilité avec la biodiversité et avec la faune ainsi que le fait qu'il ne permet pas de maximiser les autres usages du territoire. Il a mentionné la nécessité d'améliorer les connaissances sur les impacts directs et indirects du reboisement.

M. Tremblay a lui aussi présenté le reboisement comme un moyen envisagé pour dégager une marge de manœuvre. Il a affirmé que l'augmentation du rendement par unité de surface était essentielle au plan économique et que l'introduction d'un concept de zonage de forêt de production amènerait un environnement plus favorable à l'investissement en forêt publique. Il prévoit encore de nombreux débats concernant les aspects fiscaux, environnementaux et socio-économiques associés à l'augmentation de la productivité forestière.

M. Brunette a quant à lui parlé de l'avènement de la notion de crédits de carbone qui pourrait justifier un renouvellement d'intérêt pour le reboisement. Bien qu'il ait relevé lui aussi le potentiel que représentent les 440 000 ha de terres en friche pour une augmentation de l'effort de reboisement, il a fait état des problèmes auxquels sont confrontés les propriétaires privés, notamment sur le plan de la fiscalité.

Pour terminer, M. Dumoulin a présenté le reboisement comme un moyen à privilégier pour améliorer la productivité forestière afin de compenser les pertes prévisibles de territoire pour la création d'aires protégées. Il a mentionné que le reboisement devrait se faire sur les sites les plus productifs près des usines mais qu'en contrepartie, plus on s'approche des communautés, plus le risque de conflits d'usage augmente.

La deuxième journée du colloque a été consacrée à des visites sur le terrain. Le trajet regroupait un total de neuf sites judicieusement choisis par M. Guy Prégent et ses collaborateurs. Les participants ont eu l'opportunité d'observer les résultats impressionnants obtenus avec l'épinette de Norvège et l'épinette blanche dans des dispositifs expérimentaux à Valcartier. Le dispositif d'épinette de Norvège, âgé de 30 ans, présentait un volume marchand de 200 m^3/ha pour un accroissement annuel moyen de 6,7 m^3/ha/an. Le dispositif d'épinette blanche faisait encore meilleure figure avec un volume marchand de 271 m^3/ha après 30 ans, pour un accroissement annuel moyen de 7,97 m^3/ha/an.

Au troisième site, la plantation de mélèze laricin également âgée de 30 ans affichait un volume marchand de 122 m^3/ha. L'accroissement annuel moyen maximal de 5,2 m^3/ha/an avait été atteint à l'âge de 24 ans.

Au quatrième site, la plantation d'épinette de Norvège âgée de 29 ans avait un volume total de 175 m^3/ha pour un accroissement annuel moyen de 6 m^3/ha/an en excluant le volume récolté lors d'une éclaircie.

Le cinquième site présentait une plantation expérimentale de mélèze du japon et de mélèze d'Europe. Après 17 ans, le volume marchand mesuré dans la plantation était de 108 m^3/ha pour le mélèze d'Europe et de 114 m^3/ha pour le mélèze japonais, pour un accroissement annuel moyen de l'ordre de 7 m^3/ha/an.

Aux 6e et 7e sites, on retrouvait des plantations d'épinette de Norvège et d'épinette blanche établies respectivement en 1989 et 1990. Elles présentaient des accroissements annuels moyens de 7,6 m^3/ha/an pour l'épinette de Norvège et de 5,6 m^3/ha/an pour l'épinette blanche.

Au 8e site, la plantation de pin rouge âgée de 48 ans contenait un volume marchand de 269 m^3/ha pour un accroissement annuel moyen de 6,3 m^3/ha/an.

Le dernier site, le clou de la journée, supportait une plantation d'épinette blanche âgée d'environ 45 ans et dont le volume marchand dépassait 380 m^3/ha dans certaines placettes échantillons, pour un accroissement annuel moyen supérieur à 8,5 m^3/ha/an.

Ce colloque de deux jours aura permis, dans l'esprit de plusieurs, de redonner ses lettres de noblesse au reboisement. D'un rôle limité comme moyen pour corriger l'absence de régénération, le reboisement retrouverait ainsi le statut de traitement privilégié dans une perspective d'intensification de l'aménagement forestier, que cette intensification soit justifiée pour permettre la création d'aires protégées ou pour assurer le développement futur de l'industrie forestière québécoise.

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : CONCEPTS DE BASE

Monsieur Jean Bousquet, ing.f., Ph.D.
CENTRE DE RECHERCHE EN BIOLOGIE FORESTIÈRE
UNIVERSITÉ LAVAL

Note : Ce texte n'est pas disponible. À la place, on retrouvera un résumé de la conférence prononcée par monsieur Jean Bousquet.

Concepts de base en amélioration génétique des arbres forestiers

Résumé

L'aménagement de plantations ayant recours à des stratégies sylvicoles intensives et l'amélioration génétique des plants utilisés devient une voie incontournable afin d'atteindre les objectifs de productivité forestière accrue et ce, dans le cadre d'un aménagement durable des forêts québécoises. L'exposé abordera les principales composantes d'un programme d'amélioration génétique des arbres forestiers, en mettant l'emphase sur les principales étapes de la sélection de matériel amélioré, les caractères faisant l'objet de l'amélioration et les moyens modernes de production de semences et de propagules améliorées. Les outils modernes de la biotechnologie seront brièvement abordés, vu sous l'angle du diagnostic des ressources génétiques et de la création d'organismes génétiquement modifiés. Des exemples de bénéfices économiques de l'amélioration génétique seront donnés.

Références de base utiles

Collectif. 1999. Glossaire des termes en amélioration génétique des arbres forestiers. Colloque « L'amélioration génétique en foresterie: où en sommes-nous? ». Groupe d'action en génétique et biotechnologie des arbres. Rivière-du-Loup, septembre 1999.

Beaulieu, J. *et al.* 1996. Amélioration des arbres et production de plants. Chapitre 21 du Manuel de Foresterie. Presses de l'Université Laval. Pp. 913-964.

Bousquet, J., J. Beaulieu & M. Villeneuve. 1994. Diversité et amélioration génétiques des arbres forestiers. I- Les fondements de l'amélioration génétique. Cours de formation continue no 32 de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. L'Aubelle 105 (suppl.). 12p.

Bousquet, J., J. Beaulieu & M. Villeneuve. 1995. Diversité et amélioration génétiques des arbres forestiers. II- De la production des variétés améliorées à la conservation des ressources génétiques. Cours de formation continue no 33 de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. L'Aubelle 106 (suppl.). 12p.

SOUPER-CONFÉRENCE
AMÉLIORATION DES ARBRES : LE POINT DE VUE DE L'INDUSTRIE SUR LES DÉFIS ET LES POSSIBILITÉS

Monsieur Greg W. Adams
J.D. IRVING LIMITED

Note : Cette conférence a été prononcée en anglais.

Amélioration des arbres : Le point de vue de l'industrie sur les défis et les possibilités

Introduction

Les programmes structurés d'amélioration des essences indigènes ont débuté au Canada pendant les années 70 (Hall, 1979) à la suite de la mise sur pied de programmes de reboisement à grande échelle. Dans nombre de régions, ils ont donné lieu à une coopération entre des organismes gouvernementaux, les universités et l'industrie. À cet égard, les programmes d'amélioration des arbres de l'industrie ont des objectifs généraux semblables à ceux, par exemple, des provinces, mais présentent toutefois certaines différences. Au Canada, les points de vue de l'industrie sur l'amélioration des arbres sont certes très nombreux. Je ne pourrais les aborder tous, mais je peux vous donner un aperçu de l'optique de la J. D. Irving Limited (JDI).

De par ses antécédents, la J. D. Irving Limited est une compagnie familiale diversifiée de produits forestiers dont le siège social est situé à Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick. Elle exploite onze scieries et cinq usines de pâtes et papiers et est responsable de l'aménagement de plus de deux millions d'hectares de forêt situés au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et dans l'État du Maine. La moitié de ce territoire est constitué de terres de la Couronne visées par des permis de coupe délivrés par le Nouveau-Brunswick, tandis que l'autre moitié appartient à la compagnie. La JDI a son propre programme de reboisement progressif depuis la fin des années 50 et a célébré les 40 ans de son programme en 1997. Elle plante quelque 15 à 16 millions d'arbres sur ses propres terres et 8 à 12 millions, sur les terres de la Couronne. Les éclaircies précommerciales qu'elle pratique dans les quartiers de régénération naturelle constituent un autre volet important de son programme de sylviculture. Ses travaux se poursuivent sans relâche depuis le début des années 80. Au cours des trois dernières années, 10 000 à 20 000 hectares, y compris des peuplements résineux, mixtes et feuillus, ont été traités chaque année.

Les travaux d'amélioration des arbres de la société ont débuté en 1978, peu de temps après la création du New Brunswick Tree Improvement Council (Conseil d'amélioration génétique des arbres du Nouveau-Brunswick) (NBTIC), et se sont beaucoup intensifiés en 1980. En 1989, la JDI est devenue membre du Nova Scotia Tree Improvement Working Group (Groupe de travail sur l'amélioration des arbres de la Nouvelle-Écosse) (NSTIWG) après avoir acheté d'autres terrains dans cette province. Elle a aussi mené d'autres activités conjointes, mais à caractère moins officiel, dans le Maine. Les essences visées au départ par les travaux d'amélioration étaient l'épinette noire, l'épinette blanche, le pin gris et le mélèze laricin. L'épinette de Norvège (épinette de Norvège), l'épinette rouge et, plus récemment, le pin blanc, sont venus se rajouter par la suite à cette liste. Les premiers vergers à graines de semis de pin gris et d'épinette noire ont été établis en 1979 et les premiers vergers clonaux, en 1983. Les premières graines ont été récoltées pendant la deuxième moitié des années 80. Dès le début des années 90, toutes les graines servant à la production du matériel de reboisement provenaient de ces vergers à graines. Des graines de deuxième génération d'épinette noire et de pin gris commencent maintenant à être disponibles.

Les sections suivantes décrivent le point de vue de la JDI sur le rôle de l'amélioration des arbres, y compris les défis à relever et les possibilités à exploiter.

Quelle est l'importance de l'amélioration des arbres?

La JDI est convaincue depuis fort longtemps qu'il est important d'intensifier la croissance des forêts afin de maximiser la possibilité annuelle de coupe (PAC) durable, tout en préservant ou en améliorant d'autres éléments touchés par l'aménagement forestier durable, y compris la qualité de l'environnement et la biodiversité. Le comité organisateur de l'assemblée annuelle de l'Association canadienne pour l'amélioration des arbres posait la question suivante : « Avons-nous besoin de programmes d'amélioration des arbres pour accroître la productivité des forêts et être concurrentiels sur les marchés locaux et

étrangers? » La réponse à cette question est ABSOLUMENT! La demande de produits forestiers augmente graduellement au Nouveau-Brunswick. De 1984 à 1994, la récolte de matière ligneuse a augmenté en moyenne de 16 % par rapport aux dix années précédentes (source : Enquêtes sur l'utilisation du bois). Parallèlement, le pourcentage du territoire où la production de bois n'est par le principal objectif de gestion (mais où une forme quelconque de récolte n'est pas nécessairement exclue) augmente. Quelque 25 % des terrains forestiers relevant de la JDI ne sont pas consacrés à la production de bois et sont gérés à diverses fins, notamment comme zones riveraines, aires de gestion de la faune, sites uniques ou autres. Cette situation exerce des pressions supplémentaires sur les régions intensivement aménagées et l'amélioration des arbres est l'un des outils permettant d'y accroître la productivité.

Les plantations établies pendant les années 60 dans le district de Blackbrook, dans le nord du Nouveau-Brunswick, laissent voir que la productivité en plantation est plus élevée qu'en forêt naturelle. La compagnie se concentre surtout sur les produits en bois massif et a donc déployé des efforts considérables pour mettre au point des stratégies d'éclaircie commerciale. À l'heure actuelle, des éclaircies commerciales sont pratiquées chaque année sur 1 500 hectares de plantations de 20-30 ans du district de Blackbrook. Une technique modifiée d'éclaircie par le bas est utilisée pour récolter environ 40 % du volume (Brunsdon and Pelletier, 1995). Pour l'heure, 20 % du volume de résineux récolté dans ce district provient de plantations et ce pourcentage augmentera de façon spectaculaire lorsque débutera le deuxième cycle d'éclaircie commerciale. On pense actuellement pouvoir pratiquer au moins une éclaircie dans la plupart des plantations de ce district et jusqu'à trois éclaircies dans les plantations occupant des stations plus fertiles, la coupe finale devant être exécutée vers l'âge de 60 ou 70 ans. Les plantations expérimentales les plus anciennes d'amélioration des arbres commencent à être suffisamment âgées pour permettre des comparaisons avec des plantations établies avec des semences non améliorées. On a donc tenté d'établir une première comparaison à l'aide des données sur la croissance compilées pendant 15 ans dans deux plantations comparatives de familles d'épinette noire en pollinisation libre du NBTIC situées dans le district de Blackbrook. Ces données ont été utilisées dans le modèle de croissance des peuplements aménagés en usage au Nouveau-Brunswick pour extrapoler la croissance des peuplements dans le temps. Quatre plantations opérationnelles d'épinettes noires d'à peu près le même âge et occupant des stations similaires ont également fait l'objet d'une évaluation et d'activités de modélisation. La figure 1 présente la courbe de croissance de la plantation expérimentale de familles et la moyenne de celles des quatre plantations opérationnelles. La première éclaircie sera pratiquée vers l'âge de 25 ans dans les plantations d'épinettes noires de Blackbrook, tandis qu'elle pourra avoir lieu deux ans plus tôt dans la plantation comparative de familles. Il ne s'agit-là que d'une première tentative et nous devons saisir toutes les occasions d'établir des comparaisons qui se présenteront afin d'obtenir les courbes de croissance convenables pour les plantations issues de semences améliorées. Des plantations comparatives des gains réalisés établies par les membres du NBTIC au début des années 90 et d'autres plantations de démonstration de la compagnie serviront à affiner les prévisions de la croissance des forêts à des fins de détermination de la PAC durable. La croissance accrue du matériel génétiquement amélioré peut aussi avoir des retombées économiques importantes sur le volet « établissement » du cycle de reboisement ainsi que sur la récolte. La plantation de semis améliorés pourrait nécessiter moins de traitements de lutte contre la concurrence végétale. C'est l'un des bienfaits procurés par l'utilisation de boutures améliorées d'épinette de Sitka au Royaume Uni (Lee, comm. pers.).

Il ne faut pas négliger l'amélioration des caractères qualitatifs. Chez certaines essences, comme le pin gris et le mélèze laricin, les améliorations apportées à la forme des tiges (redressement) et à la branchaison de la première génération d'arbres améliorés ont été spectaculaires. Les améliorations apportées par notre compagnie à la forme du pin gris ont été les premiers effets visibles à être observés chez les semis destinés au reboisement. Les observations sur le terrain ont été vérifiées grâce à des évaluations quinquennales effectuées dans des plantations comparatives des gains réalisés (pin gris) établies par le NBTIC en 1991. Les plants provenant d'un verger de première génération où aucune éclaircie génétique n'avait été effectuée étaient 24 % plus droits que ceux issus de sources non améliorées, d'après les résultats d'une évaluation subjective sur une échelle de 1 à 6 (NBTIC, 1996).

Quels caractères devrions-nous sélectionner?

Le comité organisateur a également posé d'autres questions : « Devrions-nous élaborer des programmes d'amélioration génétique à l'égard de produits particuliers? » et « Quels caractères devrions-nous sélectionner en priorité? » À titre de compagnie diversifiée de produits forestiers, la JDI répond « Non » à la première question. La flexibilité des objectifs des produits est de rigueur, compte tenu de la nature à long terme des investissements consentis dans les plantations et de la nature cyclique des marchés des produits forestiers. Qui peut dire quelle sera la gamme de produits la plus rentable dans cinquante ans d'ici? La production de volumes ligneux demeurera l'un des grands objectifs de la plupart des programmes d'amélioration des arbres. Les caractères qualitatifs, comme la forme de la tige (tige rectiligne) et la taille des branches, peuvent être importants, notamment chez les essences soumises à des révolutions plus longues, y compris de multiples éclaircies, à des fins de production de billes de grandes dimensions et de valeur élevée.

Les programmes d'amélioration génétique tiendront également compte des propriétés du bois. Le caractère du bois que nous connaissons le mieux est la densité relative. Nous disposons de données sur les corrélations génétiques négatives de certaines de nos essences, comme l'épinette noire (Zhang and Morgenstern, 1995), l'épinette blanche (Corriveau et collab., 1991) et l'épinette de Norvège (Hylen, 1997). La façon dont les programmes d'amélioration tiendront compte de ce caractère, consistera vraisemblablement à imposer des limites aux indices de sélection lorsque la densité ne peut tomber sous un certain seuil. Pour l'heure, je ne pense pas que nous disposions des connaissances permettant d'évaluer les probabilités que d'autres propriétés du bois soient intégrées à nos programmes d'amélioration ou de production.

Le programme d'amélioration des arbres de la JDI accordera une importance grandissante à la sélection destinée à conférer à certaines essences une résistance à des insectes et à des maladies. Le pin blanc et l'épinette de Norvège sont deux essences de grande valeur qui sont gravement affectées par le charançon du pin blanc. Il a été démontré que la résistance à ce charançon était héréditaire chez l'épinette de Sitka et les variétés d'épinettes de l'intérieur de la Colombie-Britannique (King et collab., 1997) et certains éléments attestent que c'est également le cas de l'épinette de Norvège (Nierman and Boyle, 1989). Des épinettes de Norvège sélectionnées présumées résistantes ont été observées au Nouveau-Brunswick où des techniques d'induction florale servent à des activités de sélection et à des essais. L'amélioration du pin blanc en est à ses débuts à la JDI et fera l'objet de recherches, tout comme la résistance ou la tolérance au charançon et la sensibilité à la rouille vésiculeuse du pin blanc. La tordeuse des bourgeons de l'épinette est l'insecte forestier le plus nuisible dans les Maritimes. Au nombre des stratégies utilisées par la JDI pour lutter contre ce ravageur figure la sélection des essences lors de l'établissement de plantations et d'éclaircies précommerciales de la régénération naturelle de façon à privilégier les essences d'épinette par rapport au sapin baumier. La tordeuse des bourgeons de l'épinette a généralement moins d'impact sur l'épinette (variable selon l'essence) que sur le sapin. Le maintien de peuplements vigoureux grâce à l'éclaircie commerciale devrait également accroître la tolérance des peuplements à la défoliation. Les niveaux de population de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont actuellement dans le creux d'un cycle qui dure historiquement une vingtaine d'années. Lorsque ce ravageur recommencera à pulluler, les plantations génétiques se seront développées au point où elles seront affectées par ce ravageur et nous pourrons commencer à y évaluer la tolérance à ce ravageur, notamment celle des essences plus sensibles comme l'épinette blanche. Il a déjà été démontré que la sensibilité de l'épinette blanche à des ravageurs de moindre importance économique, comme les tordeuses de l'épinette, les pucerons et les cécidomyies, présentait une variation génétique.

D'autres caractères liés à l'adaptivité prendront aussi de l'importance dans les programmes d'amélioration des arbres de la JDI, notamment au fil de l'obtention de l'information génétique ainsi que de l'évolution des systèmes opérationnels de production et de déploiement engendrée par la sélection massale de familles et la production de clones. Dans certains secteurs où la compagnie mène des activités d'aménagement forestier, la plantation d'épinettes blanches et d'épinettes de Norvège est restreinte par les dommages causés par les gelures printanières. En Finlande, où existent des problèmes de cet ordre, on a entrepris de sélectionner des clones à débourrement tardif (Napola, 1992). Cette méthode pourrait être adoptée dans les Maritimes.

Orientations et défis nouveaux

Les programmes d'amélioration des arbres ont progressé grâce à la constitution de populations de sélection, à l'établissement de vergers à graines et à la sélection et à des essais comparatifs de premières générations de la plupart des essences résineuses d'importance commerciale utilisées par la JDI. Nous entrons rapidement dans une période de transition qui nous permettra d'utiliser l'information acquise après moult efforts pour influer de façon significative sur la valeur des plantations que nous avons établies. Parallèlement, des décisions à plus long terme sont prises à l'égard de la gestion de la diversité génétique et elles orienteront l'évolution des populations futures. Dans le cadre de ses efforts d'amélioration des arbres, la JDI considère que l'obtention d'un gain génétique, l'utilisation de la biotechnologie et la diversité génétique sont trois questions importantes qui sont abordées dans les sections suivantes.

Obtention d'un gain génétique

À ce jour, des efforts considérables ont été déployés pour accroître la productivité des vergers à graines et des éclaircies génétiques sont actuellement effectuées aussi rapidement que le permettent les résultats des essais au champ. Ces activités visent à garantir que les investissements consentis dans l'amélioration des arbres se traduisent par un accroissement de la productivité et de la valeur des forêts. Au début du programme d'amélioration des arbres, les vergers à graines étaient gérés comme un tout et un certain pourcentage du gain génétique potentiel se matérialisera dans le matériel de plantation qui en proviendra. La figure 2 (tirée d'Adams and Tosh, 1998) illustre la nécessité d'aller plus loin que la production massive dans un verger à graines d'épinettes. Elle représente graphiquement la valeur reproductive de 38 clones d'un verger de la JDI par rapport à la contribution en pourcentage des graines de chaque clone à la composition du verger.

Cinquante clones étaient représentés au total dans la parcelle du verger à graines où la production de graines par les clones a été étudiée. Les clones qui contribuaient également à la composition du verger produisaient 2 % des graines. Au-delà de ce seuil, leur contribution était excessive tandis qu'elle devenait insuffisante en-dessous de ce pourcentage. Il n'existait aucune corrélation significative entre la valeur reproductive et la production de graines; toutefois, sept des dix clones ayant les valeurs reproductives les plus élevées étaient sous-représentés dans la composition du verger. Pour obtenir des gains plus importants chez les populations de production, on peut maintenant utiliser des techniques comme l'induction florale et la multiplication végétative ou d'autres dispositifs d'implantation ainsi que l'information des essais génétiques.

La JDI a mis au point un système de production de clones basé sur la pollinisation dirigée effectuée dans un phytotron, une banque de clones ou un verger à graines, suivie de l'établissement de haies en pot et d'une multiplication végétative massive par boutures racinées. Ces travaux ont débuté en 1993 à l'aide d'hybrides d'épinettes noires sélectionnées de deuxième génération. Ils ont été élargis et englobent maintenant l'épinette de Norvège et l'épinette blanche. Au cours des deux dernières années, nous avons atteint une production annuelle de 1 million de boutures qui augmentera en 1998. Chaque année, nous faisons de 20 à 30 croisements par essence, de sorte que nous pouvons intégrer la nouvelle information génétique et accroître sans cesse le gain génétique. Les plants constituant les haies sont identifiés par famille, ce qui permet aussi de rajuster la composition en coupant des haies des années précédentes. À l'heure actuelle, la plupart des boutures racinées sont plantées en vrac, mais des plantations expérimentales de parcelles familiales ont toutefois été établies. En plus de permettre de rajuster la composition génétique des plants destinés au reboisement, les périodes de mise à l'échelle sont plus courtes que dans les vergers à graines traditionnels. Le développement parallèle d'un verger à graines d'épinettes noires de deuxième génération de 7 ha établi par la JDI en est une preuve évidente. L'établissement, par greffage, des populations de production du verger à graines et des projets de pollinisation dirigée/multiplication végétative massive ont débuté en 1989. À la fin de 1997, plus de deux millions de boutures racinées avaient été produites comparativement à quelque 250 000 semis dans le verger à graines.

La pollinisation dirigée et la multiplication végétative massive constitueront une méthode précieuse de production de matériels présentant des combinaisons de caractères spécialisés, comme une croissance rapide, une résistance aux insectes et aux maladies, un bois à propriétés spéciales ou des caractères adaptatifs. Malgré tous les avantages, il est capital de mettre au point des systèmes de production efficaces. Les coûts de production des boutures racinées sont beaucoup plus élevés que ceux des semis et les problèmes de

logistique sont plus grands, car les boutures exigent un surcroît de main d'oeuvre et ne peuvent être produites que pendant une période relativement courte. La JDI a consacré beaucoup de temps à la réduction des coûts et à l'amélioration de la qualité des plants. Il lui reste toutefois un défi à relever : augmenter (mettre à l'échelle) sa production de boutures racinées pour qu'elle représente un pourcentage plus élevé de la production totale en pépinière.

L'affectation du matériel amélioré est un autre aspect important pour que le gain génétique potentiel de l'amélioration des arbres puisse se matérialiser au niveau de la forêt. Talbert (1993) examine cette question en détail. Le matériel de plantation de qualité génétique supérieure sera toujours rare et le rapport coûts-efficacité global du programme d'amélioration des arbres sera optimal lorsque ce matériel sera planté dans les stations les mieux appropriées à une essence donnée. L'expérience sur le terrain des forestiers chargés de la gestion des terres des districts conjuguée à des systèmes d'information géographique (SIG) constitue des éléments importants. Au Nouveau-Brunswick, de nouvelles sources d'information, comme les cartes des sols forestiers (Colpitts et collab., 1995) faciliteront aussi le processus décisionnel. À mesure que nous mettrons au point des méthodes plus précises pour matérialiser le gain génétique, nous continuerons de parfaire l'affectation du matériel amélioré, ce qui aura des effets de taille sur l'efficacité générale du programme d'amélioration des arbres de la JDI.

Biotechnologie

Un certain nombre de domaines de recherche en biotechnologie peuvent, à long terme, avoir des répercussions importantes sur le programme de la JDI d'amélioration génétique du matériel de reboisement. L'embryogenèse somatique (ES) est le domaine qui a le plus progressé. La JDI participe à des travaux sur l'ES depuis 1991 (Adams et collab., 1994) et vise à utiliser cette méthode à des fins de cryopréservation des clones pendant la longue période que nécessitent les essais clonaux. La perte de juvénilité de nombreuses essences forestières est un obstacle bien connu à la mise en oeuvre d'une foresterie clonale (Kleinschmit et collab., 1993). La JDI cultive actuellement des haies constituées d'environ 250 clones obtenus par ES (qui avaient été cryopréservés) et issus de plus de 30 fratries s.s. d'épinette noire de deuxième génération. Elle produira en 1998 des boutures racinées qui serviront à établir des plantations expérimentales de clones. Au cours des cinq prochaines années, elle soumettra d'autres clones à des essais séquentiels qui comprendront notamment l'épinette de Norvège et l'épinette blanche. La figure 3 illustre comment l'ES sera probablement intégrée au programme opérationnel de production de clones de la JDI.

D'autres domaines de la biotechnologie, comme le génie génétique et la sélection à l'aide de marqueurs génétiques, sont reconnus comme fort prometteurs, mais le délai nécessaire à des applications pratiques est toutefois beaucoup plus long. La JDI s'intéresse vivement au potentiel qu'offre le génie génétique de conférer une résistance à des insectes comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette et le charançon du pin blanc. Tous reconnaissent toutefois que ces outils doivent être mis au point dans le cadre de stratégies plus larges de gestion intégrée des ravageurs. De même, la sélection à l'aide de marqueurs génétiques peut aussi trouver sa place dans les programmes de sélection et notamment servir au criblage des clones de production et à la sélection intra-familiale dans le cadre des programmes d'amélioration génétique. La JDI participe à un projet externe mené par l'Université Laval, le Service canadien des forêts, Forintek Canada et le ministère des Ressources naturelles du Québec qui étudie des marqueurs génétiques de la densité du bois de l'épinette blanche et de l'épinette noire.

Diversité génétique

Dans ce domaine, notre point de vue sera semblable à celui de la plupart des programmes d'amélioration génétique des arbres. Dans les Maritimes, des coopératives régionales assureront la gestion de la diversité génétique des principales essences commerciales utilisées à des fins de reboisement. Une stratégie basée sur la création de groupes d'élevage de la plupart des essences est mise en oeuvre au fur et à mesure que s'implante la deuxième génération. Notre objectif à l'égard des populations de deuxième génération est de 400 sélections dans chaque zone d'amélioration génétique et leur subdivision en groupes de 20 arbres (Fowler, 1986). Toutefois, il variera probablement selon l'essence. La création de populations intraspécifiques multiples diversifiées, telle que décrite par Namkoong (1997), sera importante sur le plan de la conservation ainsi que de la fourniture de populations de production. À mesure que nous connaîtrons mieux les modes de variation génétique des caractères adaptatifs ainsi que des caractères d'importance économique, nous

serons en très bonne position pour créer des groupes d'élevage spécialisés qui nous donneront une plus grande marge de manoeuvre pour réagir aux conditions futures. À l'heure actuelle, il existe des programmes indépendants d'amélioration génétique de certaines essences dans chaque province des Maritimes. Fowler (1986) avait recommandé que les provinces Maritimes soient traitées comme des zones d'amélioration génétique qui se chevauchent. Grâce à cette mesure, les populations de la région des Maritimes ont déjà atteint dans une certaine mesure le niveau de diversité décrit par Namkoong (1997). Même si les populations régionales peuvent demeurer indépendantes, il pourrait être fort intéressant d'effectuer certains essais interrégionaux à l'aide de différentes essences.

Il faudra examiner la diversité génétique au niveau des populations de production et de sélection à mesure que nos techniques d'affectation du matériel génétique deviendront plus sophistiquées. La plupart des plants génétiquement améliorés produits de nos jours dans les Maritimes sont distribués en vrac et proviennent de vergers contenant habituellement une quarantaine à plus d'une centaine de parents non apparentés. La JDI a entrepris des essais qui consistent à planter une mosaïque de parcelles de familles composées de semis demi-frères ou de boutures issues de mêmes parents. Si ces méthodes de déploiement se répandent, il faudra élaborer des lignes directrices sur la diversité génétique au niveau du paysage. Des essais ont été entrepris en 1997 afin de comparer des mélanges de clones d'épinette noire à de petites parcelles monoclonales.

Il est également envisagé de déployer des efforts pour assurer la conservation des gènes d'essences de moindre importance et l'industrie pourrait jouer un rôle dans ce domaine. Ces dernières années, la demande de plusieurs essences moins courantes, comme les frênes et le chêne rouge, a augmenté dans le cadre de projets communautaires de plantation. Il est souvent difficile d'obtenir des sources de graines locales et leur qualité est souvent discutable. Nous nous employons à établir quelques petites zones de production de graines de plusieurs essences feuillues où la récolte sera peu intense. Nous récoltons actuellement des graines dans un certain nombre de peuplements de chaque essence et nous produirons des semis lorsque nous disposerons d'un échantillon représentatif de trois ou quatre bons peuplements. Ces travaux en sont à leurs débuts et bénéficieraient d'une approche multipartite.

Conclusions

La J. D. Irving a consacré beaucoup de temps et d'argent à l'amélioration des arbres au cours des 18 dernières années. Au cours des 20 prochaines années, ces investissements commenceront à porter fruit, comme le font maintenant les efforts de reboisement déployés initialement. Il importe que les stratégies d'amélioration génétique et de production comportent une marge de manoeuvre suffisante pour répondre à l'évolution des conditions du marché ou de l'environnement. L'utilisation optimale du gain génétique potentiel par les programmes opérationnels de production de matériel de reboisement sera au coeur des efforts d'amélioration des arbres de la compagnie. Cette dernière continuera de s'employer à intégrer à ses activités les nouvelles techniques, comme l'embryogenèse somatique, et elle vérifiera les possibilités d'application des nouveaux outils biotechnologiques qui seront mis au point. Il est essentiel d'accorder une place prépondérante au maintien d'une grande diversité génétique, un gage de possibilités futures de sélection.

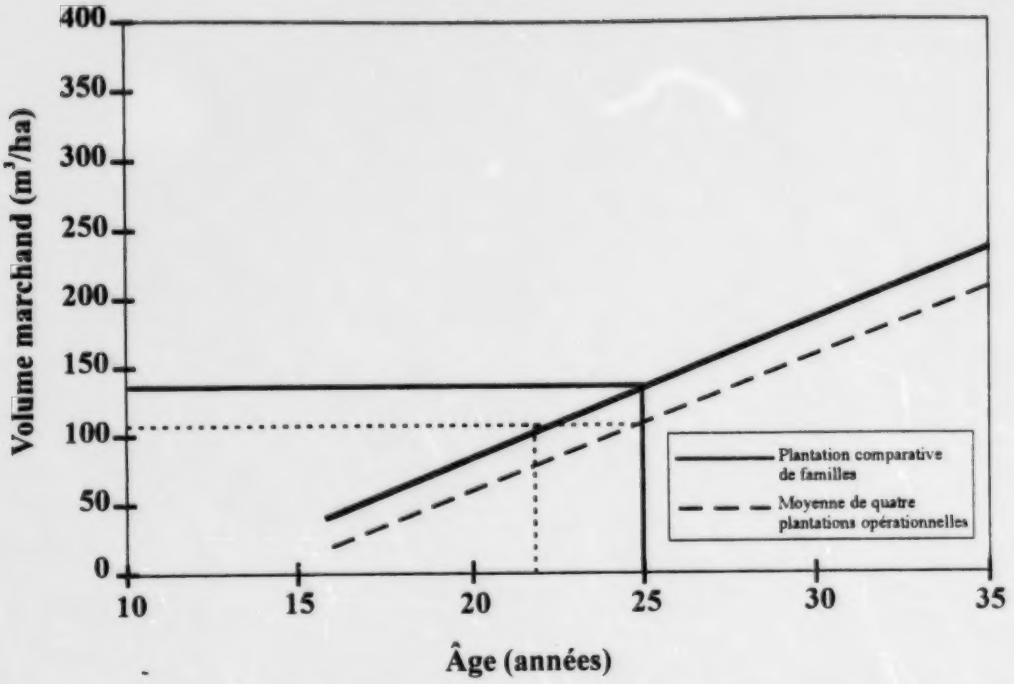


Figure 1. Comparaison du volume prévu dans une plantation comparative de familles d'épinettes noires du district de Blackbrook et dans des plantations opérationnelles.

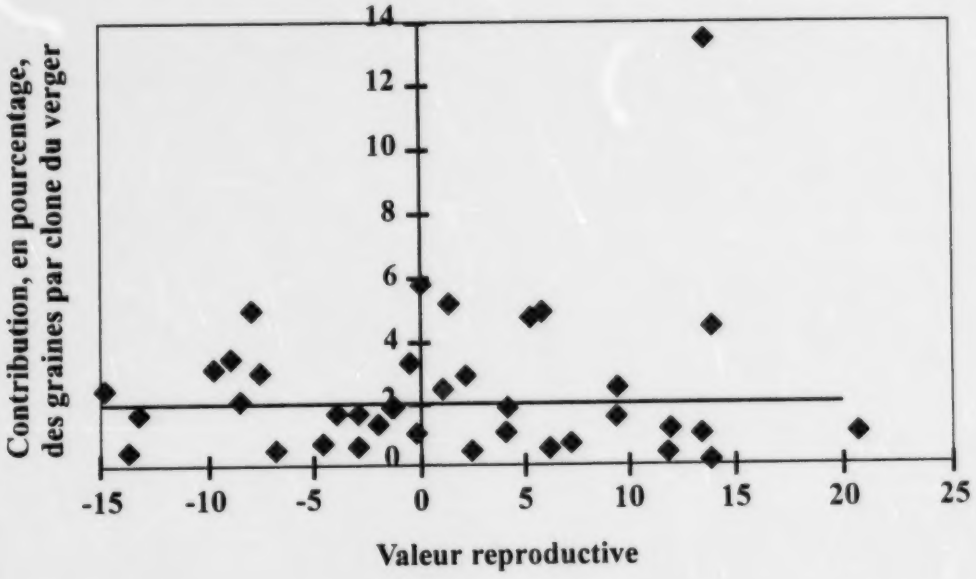


Figure 2. Valeur reproductive des clones d'épinette blanche par rapport à leur contribution à la composition d'un verger à graines de la J.D. Irving Limited. L'axe tracé au niveau de 2% indique une contribution équilibrée. Les points situés au-dessus de cette droite indiquent des clones dont la distribution est excessive et ceux situés au-dessous, des clones à contribution insuffisante.
(Tiré d'Adams and Tosh, 1998).

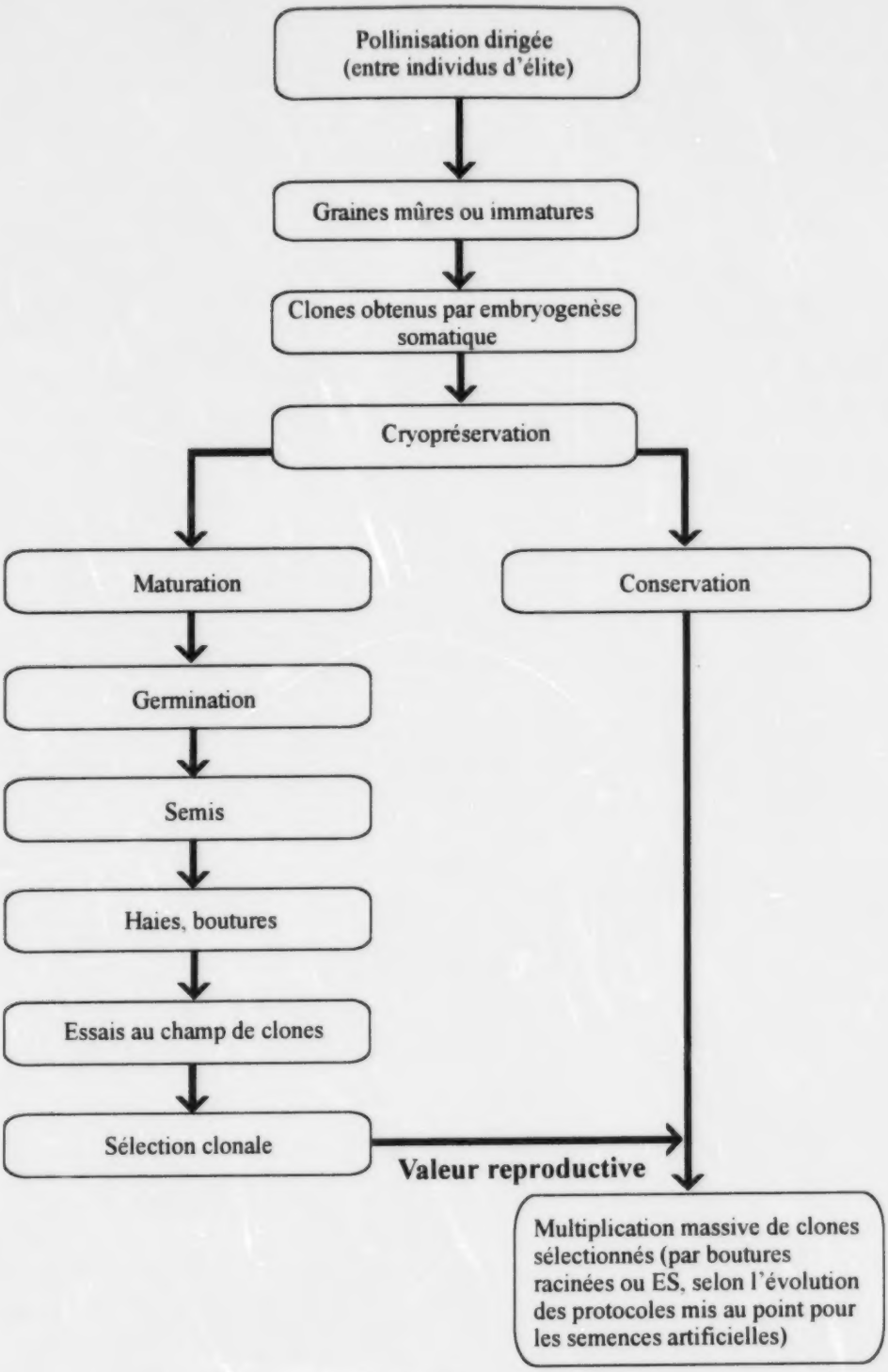


Figure 3. Schéma d'intégration de l'embryogenèse somatique à un programme commercial d'essais de clones.

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

L'ÉPINETTE NOIRE

Monsieur Michel Villeneuve, ing.f., M.Sc.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

Le programme d'amélioration génétique de l'épinette noire : déjà 30 ans

Résumé

L'un des plus vieux programmes d'amélioration génétique d'arbres forestiers au Québec est présenté ici. Peu intensif au départ, ce programme a pris de l'ampleur avec l'engouement des forestiers pour cette espèce. Dans un premier temps, nous décrivons brièvement les principales caractéristiques de l'espèce (écologie, reproduction, susceptibilité aux insectes et aux maladies, hybridation naturelle) et leurs conséquences sur le programme d'amélioration. Un bref historique et une compilation des dispositifs expérimentaux en place permettent ensuite de saisir l'ampleur de ce programme. Finalement, les principaux résultats de recherche sont présentés.

Au Québec, l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) est présente dans toutes les zones de végétation. La qualité de son bois (fibres longues et densité élevée) en fait une espèce très recherchée par l'industrie forestière.

Reboisement et productivité

Peu utilisée jusqu'en 1973, c'est l'espèce la plus en demande pour le reboisement depuis 1981. En 1997, 81 millions des 152 millions de plants mis en terre étaient des épinettes noires. De 1986 à 1995, en forêt publique seulement, 779 millions de plants d'épinette noire ont été mis en terre. À raison de 2 200 plants/ha, ceci représente 354 000 ha de plantations soit environ 3,5 fois la superficie du lac Saint-Jean. La majeure partie de ces plantations (58%) ont été réalisées dans les régions du Saguenay–Lac-Saint-Jean, de l'Abitibi et de la Côte-Nord. Huit ans après la plantation, la hauteur moyenne varie de 108 à 168 cm selon le type de plants (pour plus de détails, voir MRN 1998a).

Des tables préliminaires de rendement ont été développées pour les plantations d'épinette noire du Québec (Prégent et coll. 1996). À l'âge de 35 ans et pour un espacement initial de 2 mètres, le volume total varie de 83,0 à 165,1 m^3/ha pour des indices de qualité de station variant de 6 à 10 mètres à 25 ans. Une extrapolation des tables permet d'anticiper des volumes marchands variant de 157 à 263 m^3/ha à 55 ans. Les plantations d'épinette noire ont un rendement généralement supérieur à celui de la forêt naturelle, même s'il s'agit de l'espèce plantée la moins productive au Québec (G. Prégent, comm. pers).

Caractéristiques écologiques

Composante majeure de la forêt boréale nord-américaine, l'épinette noire fait preuve d'une grande amplitude écologique. On la retrouve dans des milieux très humides aussi bien que sur des sols secs et rocailleux. Elle s'accommode d'une grande variété de dépôts et de classes de drainage. Pour plus de détails sur l'écologie et la sylviculture de l'épinette noire, consulter Cauboue et Malenfant (1988) ainsi que Viereck et Johnston (1990).

Reproduction

Chaque arbre porte des fleurs mâles et des fleurs femelles (espèce monoïque). Les fleurs femelles sont produites dans le premier mètre de la cime, tandis que les fleurs mâles sont portées à l'extrémité des branches, sous le niveau des fleurs femelles. Cette organisation florale facilite énormément la réalisation de croisements dirigés; nul besoin d'éliminer les fleurs mâles, et la concentration des fleurs femelles permet d'en regrouper un bon nombre par sac. Les graines sont matures environ trois mois après la pollinisation. La floraison, jamais totalement absente, atteint un maximum selon un cycle de 4 ans environ. Elle est aussi relativement hâtive si la croissance est bonne (7 à 10 ans en plantation), ce qui permet d'envisager des cycles d'amélioration assez courts (15 ans environ). Des techniques d'induction de la floraison chez l'épinette noire ont été mises au point (pour plus de détails, voir Smith et Greenwood 1995).

Le marcottage de l'épinette noire est un phénomène bien connu et elle se multiplie aussi très bien par bouturage. De manière opérationnelle, au Centre de bouturage de Saint-Modeste, le taux moyen d'enracinement atteint 70% pour des boutures prélevées sur de jeunes plants-mères (Tousignant et coll. 1996). Même des arbres âgés de 9 ans ont été bouturés; le taux de succès était suffisamment élevé pour rendre cette option plus intéressante que le greffage (Tousignant et coll. 1995). Les arbres d'élite, sélectionnés dans les tests de descendances afin de constituer les populations de 2^e génération, sont dorénavant multipliés par bouturage.

Susceptibilité aux insectes et aux maladies

Un avantage largement reconnu de l'épinette noire est sa faible susceptibilité aux attaques d'insectes et aux maladies (Morgenstern 1996). Ceci explique certainement une partie de la popularité de cette espèce pour l'établissement de plantation. Elle n'est toutefois pas à l'abri des dommages et est parfois l'hôte privilégié de certains pathogènes. À titre d'exemple , l'épinette noire semble plus susceptible aux rouilles des aiguilles (*Chrysomyxa* spp.) et à la carie des racines (*Armillaria* spp.) que les autres espèces d'épinettes (MRN 1998b).

Hybridation avec l'épinette rouge

Les caractéristiques morphologiques d'espèces dont l'aire de répartition est étendue présentent des variations d'un endroit à un autre (Farrar 1996). L'identification de certaines espèces en est parfois difficile. Ainsi, une controverse existait à propos de l'hybridation naturelle entre l'épinette noire et l'épinette rouge. Perron et Bousquet (1997) ont démontré à l'aide de marqueurs moléculaires que ces espèces s'hybrident naturellement. Dans certains peuplements au sein de la zone de recouvrement des aires de distribution (zone de sympatrie), la majeure partie des arbres (jusqu'à 86%, avec une moyenne de 49%) sont des hybrides à divers degrés. Certaines difficultés à identifier correctement ces espèces s'expliquent donc. Selon Farrar (1996), les caractéristiques des cônes sont souvent les plus fiables.

Gestion des ressources génétiques

L'épinette noire et l'épinette rouge sont adaptées à des conditions environnementales différentes. La gestion des ressources génétiques de l'épinette noire doit tenir compte de l'ampleur de l'hybridation naturelle avec l'épinette rouge. Dans le programme d'amélioration génétique, l'intégrité génétique de l'espèce doit être préservée, à des fins de conservation de la biodiversité (Perron et Bousquet 1997).

Historique des travaux d'amélioration au Québec

Dès 1969, le Service de la recherche du Ministère des Terres et Forêts du Québec et le Service canadien des forêts amorçaient conjointement un programme d'amélioration génétique de l'épinette noire. La première étape a consisté à réaliser des tests de provenances, afin de mieux connaître les caractéristiques et les degrés de variations de provenances du Québec.

À partir de 1980, pour répondre aux besoins du programme provincial de reboisement en épinette noire, plus de 8 800 arbres-plus ont été sélectionnés en forêt. Un réseau de 24 vergers à graines et de 45 tests de descendances de 1re génération a été établi. Pour fournir le plus rapidement possible des graines de meilleure qualité au Centre de bouturage, des variétés multifamiliales ont été développées par croisements dirigés entre arbres sélectionnés de provenances recommandées. Après testage, les meilleures familles peuvent être multipliées par bouturage ou par la culture d'embryons somatiques combinée à la cryopréservation. Les plants ainsi obtenus ont permis la réalisation de tests de clones.

Plusieurs vergers à graines ont été éclaircis génétiquement et sont entrés en production. Des lots de semences améliorées de 1re génération sont utilisés pour le reboisement. Les gains en volume ont été estimés à partir des gains calculés en hauteur moyenne. Des plantations expérimentales en grandes parcelles vont permettre de quantifier plus précisément les gains en volume (évaluation des gains réels).

Il est maintenant possible et souhaitable de faire, pour chaque zone d'amélioration, la sélection des individus d'élite dans les tests de descendances de 1re génération, afin de constituer les populations d'amélioration du 2e cycle. Ces arbres, sélectionnés en fonction de leur performance et de celle de leur famille, sont bouturés et mis en croissance. À maturité, ces plants serviront à réaliser des croisements dirigés.

Dispositifs expérimentaux en place

Le tableau suivant donne un résumé des dispositifs expérimentaux reliés au programme d'amélioration génétique de l'épinette noire, établis de 1969 à 1999. Ces dispositifs sont localisés dans 33 unités de gestion des 10 régions administratives du MRN.

Type de dispositif	Nombre	Arbres plantés
Tests de descendances	77	640 208
Tests de provenances	26	101 276
Tests de clones	9	11 250
Évaluation gains réels	4	12 000
Autres (collection, etc...)	18	7847
Total	134	772 581

Résultats des travaux de recherche

Sources recommandées. En 1967, le Service canadien des forêts initiait une série de tests de provenances; six de ceux-ci ont été établis au Québec. Sur la base des résultats obtenus (Beaulieu, et coll. 1989) et en fonction des régions écologiques, une liste de provenances et de sources recommandées a été diffusée (Beaudoin et coll. 1994).

Règles de déplacement des semences. Seules des règles générales de déplacement des semences s'appliquent présentement (pour plus de détails, contacter la Direction de la production des semences et des plants). Toutefois, une subvention a été accordée au Centre de recherche en biologie forestière de l'Université Laval (Beaulieu et Bousquet 1999), afin de développer des modèles mathématiques permettant d'expliquer les variations génétiques des caractères d'adaptation de l'épinette noire au Québec. Ces modèles permettront de proposer de nouvelles règles et zones de déplacement propres à l'épinette noire, et d'évaluer les risques qui y sont inhérents.

Gains génétiques dans les vergers à graines. Depuis 1993, 20 prescriptions d'éclaircie génétique ont été produites. Ces prescriptions ont guidé l'aménagement de 20 vergers à graines de 1re génération et de 3 tests de descendances. Le tableau 1 résume les gains de croissance anticipés de ces sources aménagées. De plus, des vergers à graines de 2e génération sont en préparation pour chacune des 5 zones d'amélioration de l'épinette noire (figure 1). Les arbres d'élite (une centaine) qui composeront ces vergers sont choisis dans les tests de descendances, ou parfois de provenances, et multipliés par bouturage. Les sélections d'arbres d'élite sont complétées pour les zones C, D et N; pour les zones A et B, elles le seront d'ici à 2002. Les gains de croissance anticipés pour ces nouveaux vergers sont de l'ordre de 18 à 20 % en hauteur (19 à 20 % en volume à 35 ans). Pour la zone N, le verger de 2e génération a été constitué afin de combler un déficit d'approvisionnement en graines améliorées. Il n'est pas prévu, à l'heure actuelle, de poursuivre le processus d'amélioration génétique pour cette zone. Pour ce qui est des zones A, B, C et D, on a retenu une stratégie combinant des croisements dirigés au sein d'une population d'élite (100 clones) et des pollinisations libres parmi la population de support (200 clones). Une telle stratégie, appelée «*nucleus breeding*», permet d'accumuler des gains importants en concentrant les efforts de croisements sur les meilleurs individus. Une population de support maintenue par pollinisation libre assure la diversité génétique de l'ensemble, à long terme (Cotterill et coll. 1988).

Variétés multifamiliales. Les variétés multifamiliales sont produites par bouturage au Centre de Saint-Modeste. Afin de vérifier la qualité génétique de ces familles, des tests de descendances ont été mis en place (un test précoce et trois tests en milieu forestier). Le testage précoce en pépinière est très efficace pour identifier les familles les moins prometteuses dès la troisième saison de croissance. Des recommandations sur les croisements dirigés à privilégier sont mises à jour annuellement. L'ensemble des familles testées seraient supérieures de 12 à 16 % comparativement aux 6 provenances témoins, et les 10 meilleures familles, jusqu'à 35 % (Villeneuve 1995). Les résultats à 10 ans des tests en milieu forestier, qui seront disponibles à partir de 2000, permettront d'évaluer la validité du testage précoce.

Au cours du processus de multiplication par bouturage, les variations du nombre de pieds-mères et de boutures disponibles par pied-mère, ainsi que les différences de mortalité entre les familles, pourraient entraîner un déséquilibre dans la variété multifamiliale; à l'extrême, une très large part des plants livrés pourrait provenir de quelques familles seulement. Obtiendrons-nous ainsi le gain de croissance prévu et la diversité génétique anticipée ? Le suivi de 360 boutures pour chacune de 21 familles, depuis le prélèvement jusqu'au tri des plants avant livraison, a démontré que l'on doit viser à prélever un nombre égal de boutures par famille à chaque nouveau bouturage (Villeneuve et Gagnon 1996).

Perspectives d'avenir

Le premier cycle d'amélioration a permis d'épurer l'énorme quantité de familles et d'arbres évalués dans les tests de descendances. Le principal critère de sélection fut la croissance en hauteur, une caractéristique facile et rapide à mesurer. Des critères qualitatifs comme la rectitude du tronc et la branchaison furent toujours pris en compte; indirectement, ceci a normalement pour conséquence une amélioration des propriétés du bois. Pour la génération suivante, des caractères de qualité du bois doivent faire partis des critères de sélection. Cependant, la qualité du bois est de nature subjective; elle dépend du produit final envisagé. Plusieurs caractéristiques du bois ont une importance économique. Toutefois, c'est la densité et l'uniformité

du bois qui devraient retenir notre attention (Zobel et Jett 1996, Isabel et Bousquet 1999), Bien que chez l'épinette noire, la densité du bois soit négativement corrélée avec la croissance (Zhang et Morgenstern 1995), il est possible de sélectionner des familles combinant une croissance rapide et une forte densité du bois (Zhang et coll. 1996). Un projet de mise au point d'une méthode de sélection précoce pour la densité du bois (à l'aide de marqueurs moléculaires) est d'ailleurs subventionné par la DRF (Isabel et Bousquet 1999).

Dans un contexte plus général, on devra aussi porter attention à la gestion de la consanguinité dans les populations d'élite, améliorer l'efficacité des dispositifs expérimentaux (nouveaux designs), et prévoir des stratégies de déploiement du matériel amélioré qui prennent en compte la conservation de la biodiversité et le maintien de la résistance aux insectes et aux maladies. De plus, des méthodes plus efficaces de reproduction des variétés améliorées (tel vergers sous abri, bouturage, embryogenèse) devront être développées et faire l'objet d'analyses économiques comparatives.

Collaborateurs

Gaétan Numainville et Guildo Gagnon (techniciens forestiers) et Josianne Deblois (statisticienne) de la Direction de la recherche forestière (Forêt Québec).

Remerciements

À Gilles Vallée et Ante Stipanicic (DRF-Forêt Québec), ainsi qu'Armand Corriveau (maintenant décédé) qui, avant mon arrivée en 1987, ont été responsables de la mise en place des tests de provenances et d'une bonne part des tests de descendances;

Au personnel de l'équipe d'amélioration génétique des arbres de la Direction de la recherche forestière (Forêt Québec);

Au personnel de l'équipe de génétique du Service canadien des Forêts – Québec;

Au personnel de la Division semences de la Direction de la production des semences et des plants (Forêt Québec);

Au personnel des régions administratives et des unités de gestion de Forêt Québec;

Aux compagnies qui prennent en charge certains travaux de mesurage et d'entretien des dispositifs expérimentaux, par le biais du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier.

Références citées

Beaudoin, R., Y. Lamontagne, A. Stipanicic et M. Villeneuve (1994). *Recommandations sur les provenances d'espèces résineuses pour le reboisement au Québec.* Gouv. Du Québec, Min. Forêts, Dir. de la rech., Rapp. interne 344.

Beaulieu, J. et J. Bousquet (1999). *Règles et délimitation de zones pour le déplacement des semences de* Picea mariana *au Québec.* Gouv. du Québec, Min. des Ress. nat., dir. de la rech. for., rapport d'étape 1998-99 du projet 0890-143S.

Beaulieu, J., A. Corriveau, et G. Daoust (1989). *Stabilité phénotypique et délimitation de zones d'amélioration de l'épinette noire au Québec.* Forêts Canada, Rapp. d'inf. LAU-X-85.

Cauboue, M. et D. Malenfant (1988). *Exigences écologiques des épinettes (Picea), des pins (Pinus) et des mélèzes (Larix) plantés au Québec.* Gouv. du Québec, Min. de l'Énergie et des Ressources (Forêts).

Cotterill, P., C. Dean, J. Cameron et M. Brindbergs (1988). *Nucleus breeding: a new strategy for rapid improvement under clonal forestry. Invited paper, IUFRO meeting on breeding tropical trees. Pattaya, Thailande.*

Farrar, J.L. (1996). *Les arbres du Canada.* FIDES et Ressources naturelles Canada. x + 502 p.

Isabel, N . et J. Bousquet (1999). *Sélection précoce pour la densité du bois mature chez* Picea mariana. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., dir. de la rech. for., rapport d'étape 1998-99 du projet 0890-141S.

Ministère des Ressources naturelles (1998a). *Performance des plantations établies par le ministère des Ressources naturelles, dans les forêts publiques du Québec, de 1986 à 1995.* Québec, Qué.

Ministère des Ressources naturelles (1998b). *Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises en 1998.* Québec, Qué.

Morgenstern, E.K. (1996). *Geographic variation in forest trees. Genetic basis and application of knowledge in silviculture.* U.B.C. Press, Vancouver. Xiv + 209 p.

Perron, M. et J. Bousquet (1997). *Natural hybridization between Black spruce and red spruce.* Molecular Ecol. 6 : 725-734

Prégent, G., V. Bertrand, et L. Charette (1996). *Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'épinette noire au Québec.* Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., dir. de la rech. for., Mémoire de rech. for. 118.

Smith, R. et M. Greenwood (1995). *Effects of gibberellin $A_{4/7}$, root pruning and cytokinins on seed and pollen cone production in black spruce (Picea mariana).* Tree Physiology 15 : 457-465.

Tousignant, D., P. Périnet, et M. Rioux (1996). *Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste.* Gouv. du Québec, min. des Ress. nat.

Tousignant, D., M. Villeneuve, M. Rioux et S. Mercier (1995). *Effect of tree flowering and crown position on rooting success of cuttings from 9-year-old black spruce of seedling origin.* Revue can. de rech. for. **25**(7): 1058-1063.

Viereck, L.A. et W.F. Johnston (1990). Picea mariana *(Mill.) B.S.P. Black spruce.* Dans: Burns, R.M. et Honkala, B.H., technical coordinators. *Silvics of North America.* Volume 1. Conifers. U.S.D.A., For. Serv.,Agric. Hdbk 654. pages 227-237.

Villeneuve, M. (1995). *Early selection of black spruce (Picea mariana) controlled crosses in nursery tests.* Association canadienne pour l'amélioration des arbres et Western Forest Genetics Association, Victoria (C.-B.).

Villeneuve, M. et G. Gagnon (1996). *Changes in the genetic composition of a synthetic variety of black spruce from vegetative propagation to delivery of plantable stock.* North American Forest Biology Workshop, Sainte-Foy (Qué.)

Zhang, S.Y. et E.K. Morgenstern (1995). *Genetic variation and inheritance of wood density in balck spruce (*Picea mariana*) and its relationship with growth : implications for tree breeding.* Wood Sci. Technol. 30 : 63-75.

Zhang, S.Y., D. Simpson et E.K. Morgenstern (1996). *Variation in the relationship of wood density with growth in 40 black spruce (*Picea mariana*) families in New Brunswick.* Wood Fiber Sci. 28(1) :91-99.

Zobel, B.J. et J.B. Jett (1995). *Genetics of wood production.* Springer-Verlag, Berlin. xv + 337 p.

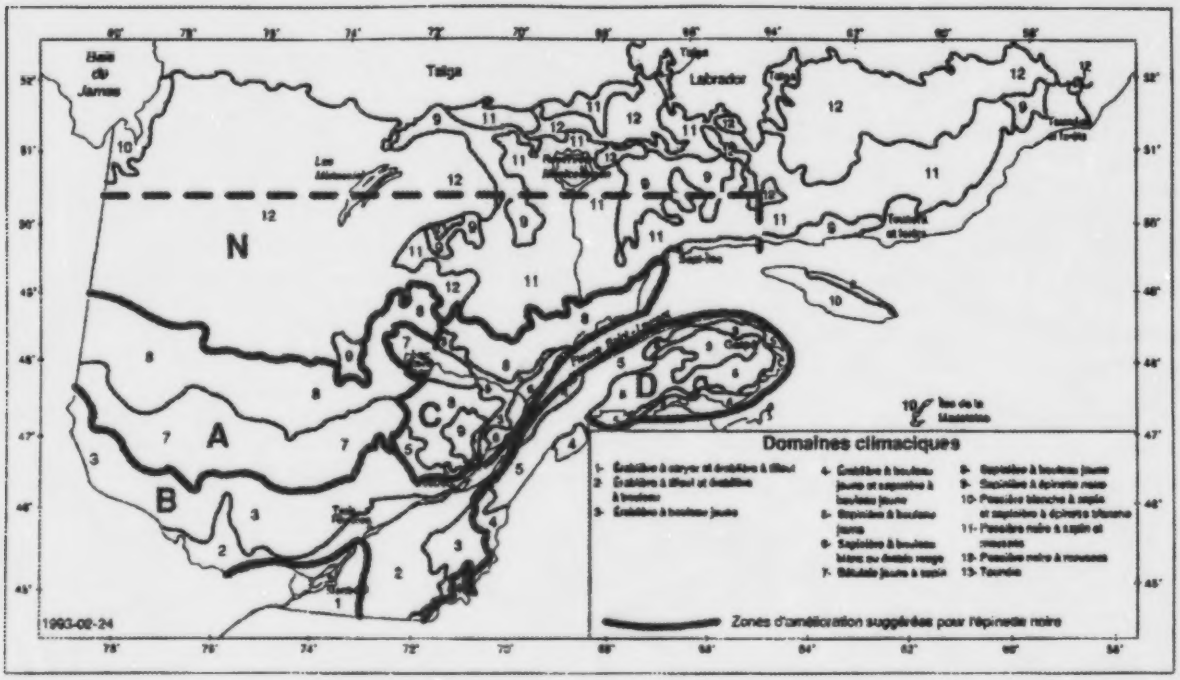


Figure 1. Zones d'amélioration pour l'épinette noire au Québec

Tableau 1. Gains de croissance anticipés pour les vergers à graines éclaircis de 1ère génération et les tests de descendances aménagés pour la production de graines.

Verger	U.G.	Nombre de familles			Gain (%)		année
		avant éclaircie	après éclaircie	%	Hauteur	Volume	
Harrington	61	429	215	50	n.a.	n.a.	1993
Lévy	26	356	156	43.8	4.2	3.8	1995
Dolbeau	27	429	188	43.8	5.7	5.1	1995
Gaboury 01 et Céloron (test)	81 85	339	149	44.0	2.6	2.2	1995
Gaboury 04	81	379	166	43.8	3.7	3.2	1995
Léman	64	360	50	13.9	8.0	7.1	1995
Estcourt et Lepage-Thivierge	11 12	214 220	95	44.4 43.2	3.0	2.6	1995
DeSales	33	445	100	22.5	3.2	2.9	1996
Robidoux et Champou	111 112	433 433	190	44.0	5.5	5.0	1996
Garnier	24	331	110	33.2	3.4	3.1	1997
Labrosse	91	374	100	26.7	4.5	4.1	1997
Riv.-Chicoutimi	21	324	100	30.9	4.6	4.2	1998
Chasseur	43	321	100	31.2	5.9	5.3	1998
Boutet	112	342	110	32.2	7.1	7.5	1998
Ditton (test)	51	5020 arbres	1320 arbres	26.3	5.9	5.3	1998
Laviolette (test)	62	10752 arbres	1680 arbres	15.6	9.5	8.4	1998
Mitchell-Lépine	74	347	100	28.8	4.4	4.0	1998
Laubanie	83	360	158	43.9	2.2	2.0	1998
Radnor	41	347	163	47.0	4.2	3.7	1999
Mitchell-Baskatong	74	352	118	33.5	6.5	5.7	1999
Ragueneau	93	350	?		?		2001
Watford	34	329	?		?		2003

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

L'ÉPINETTE BLANCHE

Monsieur Jean Beaulieu, ing.f., Ph.D.
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS - QUÉBEC

Amélioration génétique de l'épinette blanche au Québec : Les résultats d'un engagement à long terme

Résumé

Ce manuscrit expose un bilan des efforts déployés au Québec, au cours des 30 dernières années, en génétique et amélioration de l'épinette blanche. Après une revue des connaissances sur les caractéristiques écologiques et biologiques de cette essence, la place qu'elle occupe dans le programme de reboisement et les rendements obtenus sont abordés. Finalement, les principaux progrès réalisés sont présentés de même que les perspectives d'avenir qui s'ouvrent devant nous.

Caractéristiques écologiques

L'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) est une des cinq espèces indigènes du genre *Picea* qui croissent au Canada (Farrar, 1995). Son aire de répartition s'étend d'est en ouest, de l'Atlantique jusqu'à environ 100 km du Pacifique, et du nord au sud, de la limite arborescente aux états septentrionaux de la Nouvelle-Angleterre, des Grands-Lacs et de New York (Nienstaedt et Zasada, 1990). Elle colonise des sites partant du niveau de la mer jusqu'à environ 1 520 m d'altitude. Au Québec, on la retrouve partout sauf au nord-ouest du Nouveau-Québec.

C'est une essence qu'on dit "plastique" parce qu'elle pousse sur une grande diversité de sols et dans des conditions climatiques variées. Les podzols sont toutefois les sols sur lesquels on rencontre le plus souvent l'épinette blanche et les pH des sols sur lesquels elle prospère le mieux varient de 4,7 à 7,0 (Stiell, 1976). Bien qu'elle pousse dans des conditions très variées, elle est généralement plus exigeante que les autres essences qui l'accompagnent (Nienstaedt et Zasada, 1990).

L'épinette blanche est une composante majeure de nombreux écosystèmes forestiers. On la retrouve ainsi habituellement dans la partie sud-est de son aire de répartition, en association avec l'épinette noire (*Picea mariana*), l'épinette rouge (*Picea rubens*), le sapin baumier (*Abies balsamea*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) et le bouleau à papier (*Betula papyrifera*). Elle peut aussi former des peuplements purs en milieux mésiques maritimes. Dans le nord-est du Québec, elle colonise certaines stations à lichens et à mousses, ainsi que les prairies subalpines (Linteau, 1955; Grondin, 1996).

L'épinette blanche est une essence de tolérance moyenne à l'ombre (Farrar, 1995), habituellement capable de faire compétition aux essences tolérantes qui l'accompagnent. Par contre, lorsqu'elle est en présence d'essences intolérantes, elle peut demeurer supprimée de 50 à 70 ans, soit jusqu'à ce que le couvert s'ouvre pour lui permettre d'exprimer son potentiel (Nienstaedt et Zasada, 1990). D'autre part, elle rivalise difficilement avec les herbacés, les fougères et les arbrisseaux en forte densité (Fowells, 1965).

Plusieurs facteurs biotiques et abiotiques adverses peuvent affecter l'épinette blanche. L'élément le plus destructeur est sans contredit le feu qui peut détruire à la fois les semenciers et les graines enfouies dans le sol et ainsi favoriser d'autres essences au détriment de l'épinette blanche. Cette dernière est également susceptible aux gels tardifs, particulièrement ceux survenant au moment du débourrement des bourgeons floraux et végétatifs. Ceci est particulièrement vrai pour les jeunes semis sur les sites exposés aux gels.

De nombreux insectes peuvent causer des dommages d'ampleur variable à l'épinette blanche. Le plus dommageable, soit celui qui peut réduire significativement sa croissance et même causer sa mort, est sans contredit la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*). Les autres insectes les plus couramment rencontrés sur cette essence sont la tenthrède à tête jaune (*Pikonema alaskensis*), le puceron à galle conique de l'épinette (*Adelges abietis*), la tordeuse de l'épinette (*Zeiraphera canadensis*) et le charançon du pin blanc (*Pissodes strobi*). D'autres insectes s'attaquent aux cônes et peuvent causer de lourdes pertes dans les vergers à graines (Turgeon et De Groot, 1993). Les plus importants sont la mouche granivore de l'épinette (*Strobilomyia neanthracina*), la tordeuse des graines de l'épinette (*Cydia strobilella*) et la pyrale des cônes du sapin (*Dioryctria abietivorella*).

Du côté des pathogènes, il y en a un seul qui semble affecter de façon notable les cônes d'épinette blanche: la rouille des cônes de l'épinette (*Chrysomyxa pirolata*). Elle cause une diminution de la quantité et de la qualité des gaines produites (Sutherland et collab., 1987). D'autres tissus sont également l'objet d'attaques de pathogènes. La brûlure printanière, la fonte des semis et

la pourriture racinaire sont toutes des maladies très dommageables aux semis d'épinette blanche. La première est causée par *Lophophacidium hyperboreum* alors que les deux dernières le sont par des agents pathogènes comme *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, *Cylindrocarpon* et *Cylindrocladium*. La brûlure des pousses causée par *Sirococcus* et le chancre de la tige attribuable à *Phoma* spp. et *Phomopsis* spp. provoquent également des pertes dans les pépinières (Bonneau et collab., 1997). D'autres maladies s'attaquent aux arbres adultes mais sont rarement létales. Parmi celles-ci, on note la rouille des aiguilles, le faux-gui, le chancre sclérodermien et le chancre cytosporéen.

Caractéristiques biologiques

L'épinette blanche est une espèce monoïque, ce qui signifie que chaque individu porte à la fois des structures mâles et femelles. Le cycle de production de ces structures s'échelonne sur deux années (Owens et Molder, 1984). Au cours de la première année, prend place ce qu'on appelle l'initiation florale. Le méristème apical ou axillaire végétatif indéterminé passe à l'état reproducteur, ce qui va donner éventuellement naissance aux strobiles. Ainsi, vers la mi-juillet de la première année, les bourgeons végétatifs et les bourgeons floraux sont différenciés. Ceux donnant naissance aux cônes mâles passent ainsi l'hiver en dormance au stade pré-méiotique de cellule-mère de pollen. À l'automne de cette même année, les cellules-mères de mégaspore de même que les écailles ovulifères sont également présentes dans les bourgeons qui deviendront les strobiles femelles. La dormance des bourgeons végétatifs et floraux est levée à peu près simultanément au printemps de la seconde année, et ce en réponse à la hausse de la température et à la photopériode. La méiose se produit peu de temps après. Les microspores des cônes mâles se développent et les gamétophytes femelles deviennent progressivement matures. La pollinisation a lieu vers la mi-mai et se produit sur quelques jours. Elle se fait par l'intermédiaire du vent, l'épinette blanche étant une espèce anémophile. Les strobiles femelles sont alors réceptifs. Peu de temps après la pollinisation, la fécondation a lieu grâce à la germination du grain de pollen qui rejoint l'ovule. L'embryon et le mégagamétophyte qui constituent l'essentiel de la graine se développent au cours de l'été. À la fin août ou au début septembre, les cônes femelles sont matures et s'ouvrent pour libérer les graines ailées qui assureront la régénération de l'espèce. L'épinette blanche est considérée comme une espèce à maturité sexuelle tardive, c'est-à-dire que, sauf exception, elle ne produira pas de graines avant d'avoir atteint environ 15 ans.

Importance du reboisement et production

En raison de sa grande plasticité, il n'est pas étonnant de constater que l'épinette blanche soit une des essences privilégiées pour le reboisement, et ce particulièrement dans le sud du Québec. En effet, plus de 725 millions de plants ont été mis en terre entre 1964 et 1999 et près d'une trentaine de millions de semis continuent à être plantés à chaque année. La grande majorité de ceux-ci est utilisée dans les domaines de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune. Dans cette zone, l'épinette blanche est la plus plantée. Sa popularité réside également dans les rendements qu'elle démontre. En effet, sur des sites d'indice de qualité de station de 18 m à 50 ans, soit des sites fertiles, l'épinette blanche produira en forêt naturelle durant le même nombre d'années près de 230 m^3/ha, ce qui correspond à un AAM de 4,6 m^3/ha/an (Pothier et Savard, 1998). En plantation sur un site de fertilité équivalente, avec des sources de semences non améliorées, la production sera encore plus importante qu'en forêt naturelle avec un volume à l'hectare de 350 m^3, à une densité initiale de 2 000 tiges à l'hectare (Bolghari et Bertrand, 1984). Ces données démontrent que l'épinette blanche constitue un des atouts majeurs que nous avons en notre possession pour réaliser un rendement accru.

Amélioration génétique au Québec

On sait depuis longtemps que l'épinette blanche possède un fort potentiel d'amélioration génétique (Beaulieu, 1996; Beaulieu et Corriveau, 1985; Nienstaedt et Teich, 1971). En effet, elle a été parmi les premières essences pour lesquelles on a mis en place des programmes de recherche pour comprendre sa génécologie et en tirer profit.

Recherche sur les provenances

Une dizaine de tests de provenances ont été établis dès la fin des années 50 et le milieu des années 60 par le Service canadien des forêts (SCF) et ses collaborateurs. Ces tests ont permis de montrer la présence d'une variabilité génétique de nature géographique appréciable chez l'épinette blanche de même que celle d'un bassin génique de qualité supérieure dans le sud-ouest du Québec et la pointe sud-est de l'Ontario. Plusieurs provenances originaires de cette région ont en effet démontré une adaptabilité élevée et un rendement supérieur dans la majorité des tests établis. Une recommandation d'utilisation de celles-ci pour le reboisement au Québec en a donc découlé (Comité d'amélioration génétique des arbres forestiers, 1983). La supériorité des provenances recommandées par rapport aux sources québécoises présentes dans les mêmes tests variait de 19 % à 53 % selon le site pour le

volume à l'hectare à 25 ans (Beaulieu, 1996, annexe 1). Ces premiers travaux ont permis de démontrer qu'il était possible de sélectionner des phénotypes supérieurs dits généralistes et de développer, en se servant de ceux-ci comme géniteurs, des variétés améliorées à grande amplitude écologique.

Recherche sur les caractères du bois

Le caractère qui a reçu la priorité est la densité du bois, et ce en raison de son influence sur nombre d'autres caractères. Nos travaux visaient à estimer l'ampleur de la variation génétique chez ce caractère et l'importance de son contrôle génétique. Les études initiales ont porté sur des épinettes blanches poussant en forêt naturelle et en tests de provenances (Beaulieu et Corriveau, 1985; Corriveau et collab., 1987; Corriveau et collab., 1990). Elles ont permis de montrer qu'il existait des différences significatives entre les populations et qu'environ 15 % de la variation totale pouvait être expliquée par l'origine du matériel. Cette variation n'est cependant pas liée à quelque gradient géographique que ce soit. Par contre, la densité du bois de l'épinette blanche est, de façon générale, liée négativement à la croissance radiale. Il est toutefois possible de sélectionner des individus qui ont à la fois une densité du bois et une croissance radiale élevées.

Une étude récente, portant sur le comportement au séchage du bois d'épinettes blanches âgées de 37 ans produit en plantation (Girard et collab., 1998), a permis de démontrer qu'il n'y avait pas de différences entre les diverses provenances testées ainsi qu'avec le bois récolté en forêt naturelle au niveau des défauts résultant du traitement de séchage. Même si ce résultat ne permet pas d'anticiper des gains de la sélection des provenances, il n'en permet pas moins de montrer que le bois de plantation est équivalent à celui de la forêt naturelle au niveau de ces caractéristiques.

Populations et cycle d'amélioration

Dès la fin des années 70 et le début des années 80, une centaine de phénotypes supérieurs (arbres-plus) ont donc été sélectionnés dans ces provenances supérieures. Ils ont été greffés et placés dans un parc d'hybridation à la Réserve nationale de la faune de Cap-Tourmente. Ils constituent une partie du matériel de base servant à l'amélioration génétique de l'épinette blanche au Québec. Des copies de ces arbres-plus ont également été placées dans quelques vergers à graines de première génération établis par le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ).

À ce jour, plusieurs centaines de croisements dirigés ont été réalisés entre ces arbres et des tests de descendances bi-parentales ont été établis, entre autres, avec la collaboration du Centre de bouturage de Saint-Modeste. Les résultats observés après cinq ans de croissance montrent que, pour le test établi à Saint-Modeste par exemple, les variétés améliorées affichent en moyenne un gain génétique d'environ 6 % en hauteur par rapport aux semis d'une quinzaine de lots témoins. Les résultats indiquent également que des gains génétiques beaucoup plus importants pourraient être obtenus en utilisant uniquement les meilleures descendances pour le reboisement. Ainsi, si seulement les cinq descendances bi-parentales les plus performantes avaient été employées, la hauteur moyenne de la plantation serait d'environ une trentaine de centimètres de plus que celle d'une plantation réalisée avec les lots témoins, ce qui représente un gain génétique à cinq ans de l'ordre de 30 %. D'autre part, le recours à la voie clonale aurait permis d'obtenir des gains génétiques encore plus élevés; la hauteur moyenne du meilleur clone de chacune des 10 descendances les plus performantes ayant une hauteur moyenne de 1,39 m, soit près de 60 % de plus que celle des témoins.

Pour accélérer l'obtention des gains génétiques, nous avons aussi développé une expertise en induction florale qui nous a permis d'accélérer la réalisation du programme en produisant rapidement les croisements dirigés nécessaires (Daoust et collab., 1995; Beaulieu et collab., 1998). L'injection d'acide gibbérellique fait maintenant partie des outils utilisés de façon routinière.

Dans les premières phases du programme d'amélioration de l'épinette blanche, les caractéristiques de croissance, de qualité de la tige et de résistance aux insectes et maladies ont été privilégiées pour la sélection des arbres supérieurs. Avec les études réalisées sur les caractéristiques du bois de l'épinette blanche, nous avons pris conscience de l'importance de tenir également compte d'autres caractères. Ces derniers font donc maintenant partie des critères de sélection des géniteurs.

Recherche sur la transmissibilité des caractères

Les tests de provenances établis il y a quelque 35 à 40 ans ne contenaient qu'un échantillon limité de populations d'épinettes blanches, échantillon insuffisant pour servir de base unique au programme d'amélioration génétique de l'épinette blanche au Québec. De plus, comme il n'y avait pas de structure familiale dans ces tests, il était impossible de s'en servir pour estimer l'ampleur du contrôle génétique sur les caractères d'intérêt et les gains découlant de la sélection et des croisements. C'est pourquoi une série de huit tests génécologiques comprenant plusieurs centaines des familles ont été établis dans les années 70 et 80. Les informations tirées de ces tests ont permis, dans un

premier temps, de proposer la délimitation de deux zones de transfert des sources de semences et zones

Figure 1. Zones d'amélioration de l'épinette blanche au Québec

d'amélioration pour l'épinette blanche au Québec (Li et collab., 1997, figure 1). Les valeurs en croisement des parents des familles testées ont aussi été calculées pour les hauteurs à l'âge d'environ 15 ans. Une sélection en aval des plus beaux phénotypes à l'intérieur des familles permettant les gains génétiques les plus élevés a été effectuée. Ainsi, quelque 300 nouveaux arbres-plus ont été sélectionnés et greffés pour être éventuellement intégrés dans l'une ou l'autre des deux populations d'amélioration. Des gains génétiques de l'ordre de 25 % sont attendus. Des carottes de sondage ont aussi été recueillies sur chacun de ces arbres par André Rainville du MRNQ qui assume depuis 1996 la responsabilité du programme d'amélioration de l'épinette blanche. Des estimations de la densité du bois en ont été obtenues et elles permettront de sélectionner, parmi les 300 initialement retenus, les 140 arbres qui viendront s'ajouter aux 100 premiers sélectionnés dans les tests de provenances pour porter chaque population d'amélioration à sa taille finale, soit 240 arbres. Dès que ces nouveaux arbres greffés auront atteint la maturité sexuelle ou qu'ils répondront aux traitements d'induction florale, ils feront l'objet de croisements dirigés. Les lots de semences obtenus serviront à établir de nouveaux tests de descendances qui nous permettront de passer à une autre génération d'amélioration. Ce passage devrait être possible d'ici une dizaine d'années tout au plus.

En ce qui a trait au contrôle génétique de la densité du bois et des gains génétiques découlant de la sélection, ils ont été estimés à l'aide de 39 familles établies à la Station forestière de Valcartier (Corriveau et collab., 1991). Il en est ressorti que le contrôle génétique était très élevé sur ce caractère (h^2_i = 0,66; h^2_F = 0,76) et qu'un gain génétique d'au-delà de 40 kg/m^3 pourrait être obtenu par la sélection, parmi chaque groupe de 10 familles dans un test donné, de la famille possédant la densité moyenne du bois la plus élevée et de l'arbre possédant la plus forte densité parmi 100 arbres qui proviendraient de cette famille, par exemple.

Production des variétés améliorées

En même temps que l'on doit poursuivre les travaux d'amélioration génétique, il faut s'assurer de mettre en place les moyens de production de semences améliorées nécessaires aux programmes de reboisement. C'est la raison pour laquelle le MRNQ a établi, dès les années 80, un réseau de 17 vergers à graines de première génération. Les travaux d'amélioration génétique n'étaient pas très avancés et les connaissances étaient fragmentaires lors de leur mise en place. Toutefois, compte tenu de l'ampleur du reboisement, il devenait urgent d'assurer un approvisionnement continu en semences de qualité, c'est-à-dire d'origine contrôlée. C'est pourquoi les vergers à graines de première génération ont été constitués sur une base régionale à partir majoritairement de sélection d'arbres-plus en forêt naturelle. Ces vergers produisent actuellement suffisamment de graines pour combler l'ensemble des besoins. Des gains génétiques de l'ordre de 5 % en sont attendus. Marie-Josée Mottet, responsable de l'évaluation des vergers à graines d'épinette blanche au MRNQ, a mis en place des dispositifs expérimentaux qui permettront de préciser la valeur réelle des gains génétiques. Le MRNQ a également construit des structures permanentes de reproduction végétative par bouturage au Centre de bouturage de Saint-Modeste. Une expertise en bouturage a été développée et quelques centaines de milliers de boutures d'épinette blanche sont produites annuellement. Des croisements dirigés entre les meilleurs géniteurs sont réalisés pour approvisionner le Centre de bouturage.

L'amélioration génétique est un processus continu et des gains peuvent être réalisés en tirant profit des informations nouvelles à chaque génération. Compte tenu des sommes investies dans les programmes d'amélioration, il est primordial de concrétiser le plus rapidement possible ces gains génétiques via le reboisement. C'est la raison pour laquelle le MRNQ a établi en 1999 deux nouveaux vergers, un pour chaque zone d'amélioration, et ce à partir de sélections dans les tests génécologiques mis en place par le SCF. Les gains génétiques attendus de ces nouveaux vergers sont de trois à quatre fois plus élevés que ceux des premiers vergers à graines, soit de 15 à 20 %. Ils entreront en production d'ici cinq à 10 ans.

Perspectives

La responsabilité du programme d'amélioration génétique de l'épinette blanche a été transférée du SCF

au MRNQ en 1996. Lors du transfert, un document décrivant la stratégie suivie a été préparé (Beaulieu, 1996). Le MRNQ a en main le matériel et les outils pour poursuivre le travail entrepris et apporter les modifications qu'il jugera nécessaires. Quant aux chercheurs du SCF, ils se consacrent maintenant à des recherches fondamentales en génétique de pointe et en génie génétique pour développer des outils permettant d'accélérer le processus de sélection et d'amélioration. Ainsi, des recherches sont actuellement conduites pour développer des marqueurs génétiques liés à des caractéristiques comme la densité du bois. Ceux-ci permettront d'assister l'améliorateur dans la sélection des meilleurs géniteurs sans avoir à passer par une phase de testage aussi élaborée. Compte tenu de l'expertise nécessaire pour développer de tels marqueurs, cette recherche se fait en partenariat avec les chercheurs du Centre de recherche en biologie forestière de l'Université Laval.

La transformation génétique est également en plein développement. Il est actuellement possible d'insérer le gène codant pour la toxine du *B.t.* dans le génome de l'épinette blanche. De telles épinettes ont été produites dans les laboratoires du SCF au Centre de foresterie des Laurentides et leur résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette est présentement à l'étude en milieu confiné. Une stratégie prudente de dissémination d'épinettes blanches génétiquement transformées pourrait aider à diminuer les pertes lors d'infestations de l'insecte.

Les résultats des tests de descendances bi-parentales et clonaux laissent entrevoir qu'il serait avantageux de développer des vergers à graines de croisement et, éventuellement, d'emprunter la voie clonale. Les techniques d'embryogenèse somatique et de bouturage classique pour l'épinette blanche sont maintenant au point. Nul doute que l'optimisation des processus permettra de diminuer suffisamment les coûts de production pour rendre avantageuse leur utilisation, et ce compte tenu des gains génétiques supplémentaires auxquels elles permettent d'avoir accès.

À l'approche de l'an 2000, les pressions se font de plus en plus vives sur les ressources de la forêt et des antagonismes voient le jour quant à la priorité à donner à l'utilisation de chacune des ressources que renferme un territoire donné. Nous avons également pris des engagements à la face du monde en faveur de la protection d'une plus grande proportion de nos écosystèmes forestiers. Il nous faudra donc trouver des moyens pour pallier à la réduction de la possibilité forestière consécutive à la réalisation de ces engagements. Une des voies privilégiées, en contrepartie de la création de parcs et de réserves, est la mise en place de zones réservées exclusivement à la production de bois. Nul doute que, dans ce contexte, l'épinette blanche sera une des essences qui sera favorisée compte tenu de son rendement et de sa grande plasticité.

Remerciements

Une recherche à si long terme ressemble beaucoup plus à une course à obstacles et à relais qu'à un 100 m individuel. On peut dire que la majorité des forces vives de la foresterie ont participé à leur façon à l'avancement des travaux d'amélioration génétique de l'épinette blanche. Il serait trop long de faire la liste de ceux qui y ont contribué. C'est pourquoi, je dis tout simplement, au nom de nos concitoyens, à tous ceux qui, dans les deux ordres de gouvernement, dans les maisons d'enseignement, dans l'industrie forestière, dans le monde coopératif, ou encore à titre individuel, ont apporté leur concours, et qui se reconnaissent, un sincère merci.

Références

Beaulieu, J. 1996. Programme et stratégie d'amélioration génétique de l'épinette blanche au Québec. Ressour. nat. Can. Serv. can. for., Cent. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc. Rapp. inf. LAU-X-117.

Beaulieu, J; Corriveau, A. 1985. Variabilité de la densité du bois et de la production des provenances d'épinette blanche, 20 ans après plantation. Can. J. For. Res. 15:833-838.

Beaulieu, J.; Deslauriers, M.; Daoust, G. 1998. Flower induction treatments have no effects on seed traits and transmission of alleles in *Picea glauca*. Tree Physiol. 18:817-821.

Bolghari, H.A.; Bertrand, V. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Minist. Energ. Ressour. Qué. Serv. rech. Mém. rech. for. N° 179. 392 p.

Bonneau, G.; Innes, L.; Lachance, C.; Marchand, L.; Paré, D. 1997. Maladies et insectes importants dans les pépinières forestières, au Québec. Minist. Ressour. nat. Qué., Dir. conserv. for. 72 p.

Comité d'amélioration génétique des arbres forestiers. 1983. A. Corriveau, G. Vallée éd. Amélioration génétique des essences résineuses au Québec : Recherche et développement. Environ. Can., Serv. can. for.; Minist. Énerg. Ressour. Qué.

Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G. 1987. Wood density of natural white spruce populations in Québec. Can. J. For. Res. 17:675-682.

Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Mothe, F.; Poliquin, J.; Doucet, J. 1990. Densité et largeur de cernes des populations d'épinettes blanches de la région forestière des Grands-Lacs et du Saint-Laurent. Can. J. For. Res. 20:121-129

Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G.. 1991.Heritability and genetic correlations of wood characters of Upper Ottawa Valley white spruce populations grown in Quebec. For. Chron. 67:698-705.

Daoust, G.; Plourde, A.; Beaulieu, J. 1995. Influence of crown size and maturation on flower production and sex expression in *Picea glauca* treated with gibberellin $A_{4/7}$. Tree Physiol. 15:471-475.

Farrar, J.L. 1995. Trees in Canada. Fitzhenry & Whiteside/Can. For. Serv. Markham, Ontario. 502 p.

Fowells, H.A. 1965. Silvics of forest trees in the United States. Agricultural Handbook N°. 271, For. Serv., USDA, Washington, DC. 762pp.

Girard, B.; Fortin, Y.; Beaulieu, J.; Laforest, P.; Hernández, R.1998. Aptitude au séchage du bois d'épinette blanche de plantation évaluée à partir d'un essai de provenances. *In* Proc., 26th meeting CTIA/ACAA Part 2, Symp. J. Beaulieu and D. Simpson eds. Sainte-Foy, Quebec, August 18-21, 1997, p. 109.

Grondin, P. (Dir. rédaction). 1996. Écologie forestière. *In* Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval. pp. 133-279.

Li, P.; Beaulieu, J.; Bousquet, J. 1997. Genetic structure and patterns of genetic variation among populations in eastern white spruce (*Picea glauca*). Can. J. For. Res. 27:189-198.

Linteau, A. 1955. Classification des stations forestières de la section des conifères du nord-est, région forestière boréale du Québec. Minist. Nord can. Ressour. nat. Qué., Dir. for. Bull. n° 118. 93 p.

Nienstaedt, H.; Teich A. 1971. The genetics of white spruce. For. Serv., USDA, Res. Pap. WO-15.

Nienstaedt, H.; Zasada, J.C. 1990. *Picea glauca* (Moench) Voss. White Spruce. *In* Silvics of North America. Vol. 1. Conifers. *Edited by* R.M. Burns and B.H. Honkala. Agriculture Handbook 654, For. Serv., USDA, Washington, DC. pp. 204-226.

Owens, J.N; Molder, M. 1984. The reproductive cycle of interior spruce. B.C. Min. For., Inf. Serv. Br., Victoria, BC. 30 p.

Pothier, D.; Savard, F. 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. Minist. Ressour. nat. - Forêt Québec, Dir. rech. Sainte-Foy, Qc. 183 p.

Stiell, W.M. 1976. White spruce: artificial regeneration in Canada. Inf. Rep. FMR-X-85. Can. For. Serv., For. Manage. Inst., Ottawa, Ont. 275 p.

Sutherland, J.R.; Miller, T.; Quinard, R.S. 1987. Cone and seed diseases of North America conifers. North Amer. For. Commission Publ. n° 1. Can. For. Serv. Victoria, BC. 77 p.

Turgeon, J.J.; De Groot, P. 1993. Vergers à graines de conifères: Identification des ravageurs et guide de protection. Minist. Ressour. nat. Ont./For. Can. 111 p.

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

LE PIN GRIS

Madame Marie-Josée Mottet, ing.f.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

Note : Ce texte a été préparé par Monsieur Roger Beaudoin, ing.f., M.Sc., Service de la génétique, de la reproduction et de l'écologie, Forêt Québec et présenté par Madame Mottet.

Amélioration génétique du pin gris au Québec

Résumé

Cette présentation fait le bilan des réalisations en amélioration génétique du pin gris au Québec. On traite sommairement de l'importance et des caractéristiques de l'espèce. Le programme d'amélioration génétique a débuté en 1955, par une récolte pandomaniale de graines et c'est en 1966 que des tests de provenances et d'hybrides interprovenances ont été mis en place. Les résultats de ces premières plantations comparatives ont menés à l'établissement, de 1977 à 1992, de 12 vergers de semis et de 26 tests de descendances. L'éclaircie des vergers et de quelques tests sera complétée en l'an 2001 et leur production de graines sera vraisemblablement suffisante pour combler les besoins futurs en reboisement. Les gains génétiques en hauteur à 10 ans sont en moyenne de 4,2 % (5,6 m^3/ha). Le modèle de transport de semences de MATYAS et YEATMAN (1992) semble assez fiable pour délimiter le territoire d'utilisation des semences.

1- Importance du pin gris au Québec

Le pin gris constitue une part importante de la ressource forestière du Québec. En forêt publique, il est présent dans toutes les régions administratives, sauf celle des cantons-de-l'Est (05) et c'est dans celle du Nord-Ouest (08), du Saguenay – Lac-Saint-Jean (02) et de Trois-Rivières (04) qu'on retrouve 90 % du volume de pin gris au Québec ; ce volume représente 11,9 % du volume total de résineux dans tout le Québec et 10,3 % du volume de résineux coupé chaque année (DUGAS et MERCIER 1977).

Au cours des 10 dernières années, la proportion de pin gris planté en forêt publique par rapport à toutes les essences s'est maintenue à environ 20 %. L'objectif de reboisement prévu pour les années 2000 à 2003 est en moyenne de 31,6 millions de plants par an (communication personnelle de M. Pierre L'Écuyer).

En forêt naturelle, sur des stations de qualité moyenne (15 m à 50 ans) et pour des peuplements de densité moyenne, l'accroissement annuel moyen est de 1,8 m^3/ha à 63 ans (POTHIER et SAVARD 1998). En plantation, sur des stations de qualité moyenne (6,5 m à 15 ans) et avec un espacement initial de 2,0 x 2,5 m, l'accroissement annuel moyen maximum est plus grand que celui de 5,1 m^3/ha obtenu à l'âge de 38 ans (BOLGHARI et BERTRAND 1984).

2- Caractéristiques biologiques propres à l'espèce

Le pin gris colonise généralement les sols sablonneux, secs et profonds. Les arbres fructifient en bas âge (5 ans) et la maturité des graines se produit la deuxième année. Les cônes sont sérotineux et persistants sur l'arbre. La régénération est généralement abondante après un feu.

Les principaux insectes qui peuvent affecter sa survie et sa croissance sont : le diprion de Swaine (*Neodiprion swainei* Midd.) et la tordeuse du pin gris (*Choristoneura pinus pinus* free), deux défoliateurs. Les foyers d'infestation sont assez stables et localisés ; ils couvrent, pour chaque ravageur, une superficie totale de quelques centaines d'hectares. Les principaux foyers du diprion sont situés dans les régions du Saguenay – Lac-Saint-Jean, de la Mauricie et de Lanaudière alors que ceux de la tordeuse sont situés surtout dans la région de l'Outaouais. En 1998, les populations de ces ravageurs étaient redescendues à l'état endémique dans la totalité des foyers connus (BORDELEAU 1998, BORDELEAU *et al.* 1992).

La principale maladie qui peut affecter sa survie et sa croissance, le chancre sclérodermien (*Gremmeniella abietina* [LAGERBERG] MORELET) est présente dans 20 % des plantations au Québec et atteint en moyenne 3 % des arbres. Les régions du Bas-Saint-Laurent – Gaspésie et Îles-de-la-Madeleine et celle de la Côte-Nord sont les plus affectées (présence dans 50 % des plantations et sur 8 à 17 % des arbres respectivement ; GAGNON et PARADIS 1994, GAGNON 1998).

3- Tests de provenances

De 1955 à 1961, les graines de 99 provenances pandomaniales ont été récoltées. En 1966, les tests de provenances de Sainte-Christine de Portneuf (88 provenances), Fontbrune et Chouart (64 provenances) ont été réalisés au Québec avec la collaboration de M. Mark Holst de l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP). Depuis 1976, la responsabilité des tests de Chouart et de Fontbrune a été confiée au SAA par le CFL.

Les résultats de ces deux tests montrent, qu'en général, les provenances situées près du lieu de plantation se classent parmi les meilleures pour la hauteur à 21 ans. Toutefois, d'autres provenances, plus éloignées du lieu de plantation et en nombre variable d'un site à l'autre, se classent également parmi le groupe des meilleures provenances. Les provenances méridionales qui ont poussé rapidement dans les premières années ont été endommagées par la dessiccation hivernale des aiguilles (YEATMAN 1973). Sur le site le plus septentrional (Chouart), les provenances méridionales des États des Grands Lacs et celles de la partie orientale de l'Ontario montraient le plus fort pourcentage d'infection par le chancre sclérodérrien.

4- Tests d'hybrides inter-provenances

Vingt-quatre croisements dirigés, entre provenances très éloignées, ont été faits en 1961 à l'IFNP par M. Mark Holst. Les hybrides et quelques provenances témoins ont été évalués sur le site de Chouart.

Les résultats doivent être interprétés avec précaution à cause du nombre peu élevé de descendances pour les hybrides (moyenne de 11). La tendance est qu'après 21 ans de croissance, la hauteur moyenne des hybrides est comparable à la moyenne de hauteur des deux provenances parentales du croisement. La hauteur moyenne de l'hybride est parfois légèrement supérieure à la hauteur moyenne de la meilleure provenance parentale.

5- Territoire d'utilisation des semences

Dans le but de délimiter le territoire d'utilisation des semences des vergers à graines et d'autres sources recommandées, nous avons testé la fiabilité du modèle de transfert de MATYAS et YEATMAN (1992). Les variables choisies pour construire le modèle et qui expliquent le mieux les différences de hauteur observées entre les provenances à un site donné sont : la latitude (effet de la photopériode) et le nombre de degrés-jours de croissance > 5 °C au lieu d'origine des provenances et au lieu de plantation.

Le modèle a été appliqué aux provenances des tests de Chouart et de Fontbrune et aux descendances du test de Chasseur. Les résultats obtenus à Chouart et à Fontbrune montrent que 83 % et 80 % des meilleures provenances à chaque endroit ont été choisies par le modèle. Sur le site de Chasseur, la hauteur moyenne d'un groupe de descendances, déplacées du nord vers le sud (région écologique $8c^2$ vers la $7a^2$), est inférieure de 6,4 % à celle des descendances situées près du lieu de plantation ($7a^2$). Cette différence de hauteur entre les deux groupes a été expliquée par l'application du modèle, qui semble donc assez fiable excepté, semble-t-il, pour des transferts longitudinaux importants de provenances, surtout de l'est vers l'ouest.

6- Vergers et tests de descendances de première génération

Douze vergers de semis et 26 tests de descendances ont été établis à travers tout le Québec de 1977 à 1992. Les tests de descendances sont des plantations comparatives de descendances d'arbres-plus, qui servent à identifier les meilleures descendances à conserver dans les vergers au moment de l'éclaircie génétique. La sélection des 4 330 arbres-plus a été effectuée sur une base régionale pour chaque verger puisqu'il y a suffisamment de variation entre les peuplements et entre les arbres d'un même peuplement pour obtenir, après l'éclaircie génétique des vergers, des variétés plus productives.

Le principal critère d'évaluation des descendances est leur hauteur moyenne. Jusqu'à ce jour, dix vergers et quatre tests de descendances ont été éclaircis. Les gains génétiques prévus en hauteur à 10 ans pour des variétés issues des vergers et des tests éclaircis varient de 1,9 à 5,5 % pour une récolte générale (moyenne de 4,2 %) et de 2,6 à 8,4 % pour une récolte dirigée (30 à 50 meilleures descendances) (moyenne de 5,1 %). Les gains prévus en volume marchand à 40 ans, pour un indice de qualité de station moyen et des espacements initiaux à la plantation de 2 x 2,5 m (BOLGHARI et BERTRAND 1989) varient de 2,5 à 7,3 m^3/ha pour une récolte générale (moyenne 5,6 m^3/ha) et de 3,4 à 11,3 m^3/ha pour une récolte dirigée (moyenne 6,8 m^3/ha) (figure 1).

La production totale de plants prévue après l'éclaircie des 12 vergers et des 6 tests est de 37,3 millions de plants (figure 2). Cette production dépasse les objectifs de reboisement pour la période des années 2000 à 2003 (31,6 millions de plants).

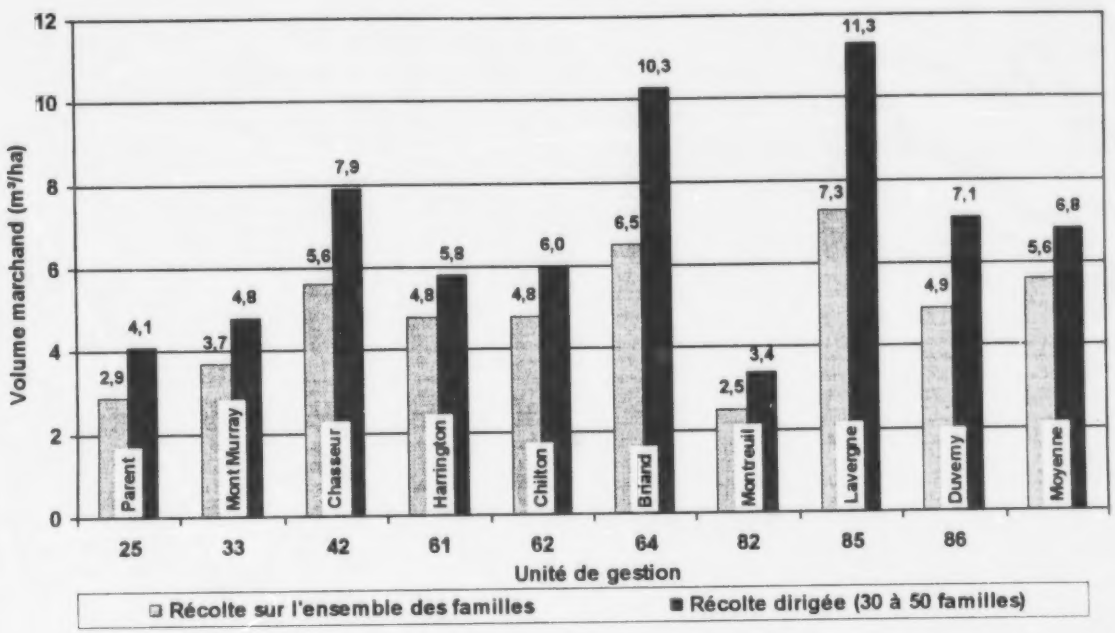


Figure 1. Gains génétiques en volume pour des variétés issues des vergers et des tests éclaircis.

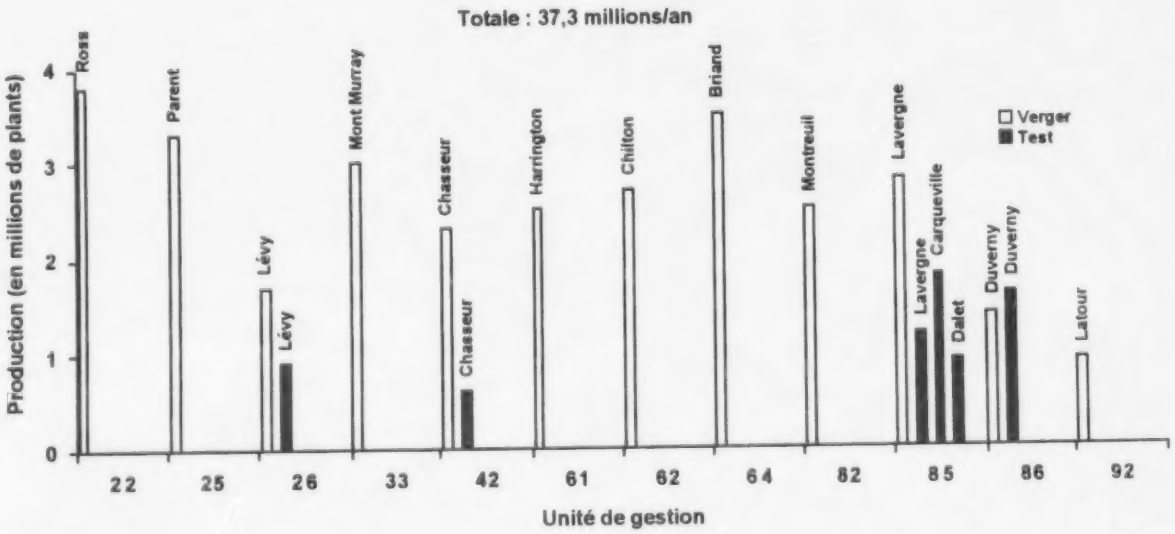


Figure 2. Production de plants prévue après l'éclaircie des vergers et des tests.

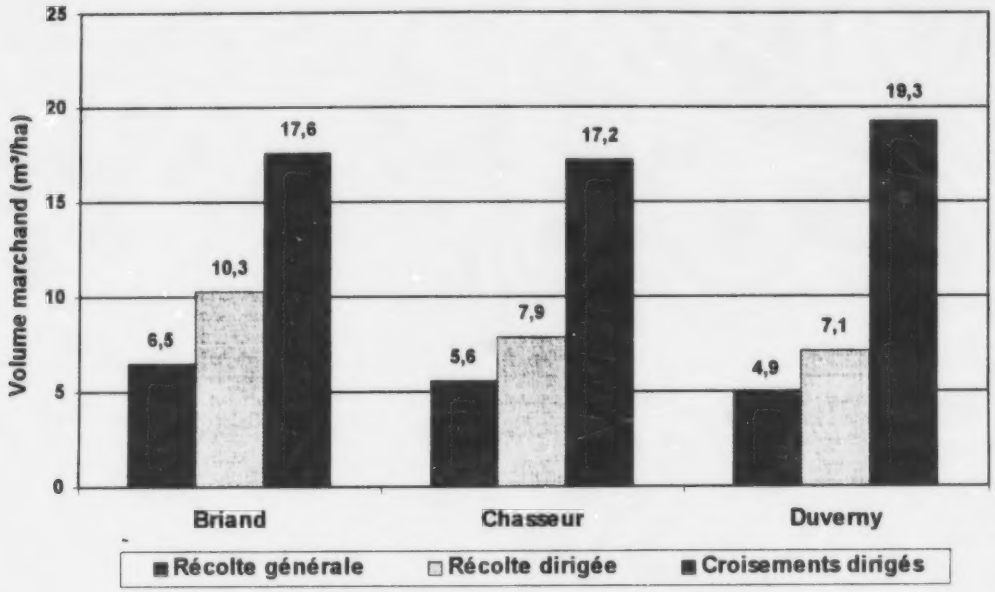


Figure 3. Gains génétiques en volume pour différentes variétés

7- Sélection d'arbres et croisements dirigés

Cinquante-cinq croisements dirigés (factoriel 6 x 6) ont été réalisés de 1990 à 1995 sur les clones de 24 arbres-plus d'une provenance recommandée (canton de Briand). Aucun croisement n'a été fait sur les clones des 240 descendances d'arbres-plus sélectionnées dans quatre tests.

Les gains génétiques prévus en utilisant les clones de Briand et ceux des 24 meilleurs clones de descendances d'arbres-plus de deux tests (Chasseur et Duverny) nous donnent un ordre de grandeur pour apprécier les gains que l'on pourrait réaliser en 2e génération. Ces gains en hauteur à 10 ans pour Briand, Duverny et Chasseur sont de 13,0, 12,7 et 14,2 %. Pour les mêmes clones et dans le même ordre, ces gains en volume marchand (IQS moyen, esp. 2 x 2,5 m, 40 ans ; BOLGHARI et BERTRAND 1984) sont de 17,6, 17,2 et 19,3 m^3/ha comparativement à 10,3, 7,9 et 7,1 m^3/ha pour des récoltes dirigées dans ces vergers éclaircis (figure 3).

8- Perspectives d'avenir

À long terme, le Groupe de travail sur l'amélioration génétique a recommandé au ministère des Ressources naturelles, dans son rapport publié en 1996 (rapport interne n° 408), de réaliser un minimum de travaux pour préparer la 2e génération d'amélioration et de produire des plants génétiquement améliorés de 2e génération selon les besoins ponctuels pour les espèces résineuses autres que l'épinette blanche et l'épinette noire. Ces besoins pourraient provenir de l'industrie, de la forêt privée ou du programme de reboisement que le Ministère pourrait développer. Dans l'attente d'une position plus favorable au projet, aucun choix d'arbres d'élite n'a été fait depuis 1996. Cependant, en tenant compte du volume et de la densité du bois des arbres d'élite, les gains génétiques qu'on pourrait réaliser en deuxième génération sont intéressants (ZHANG et CHUI 1996). D'autres provinces comme le Nouveau-Brunswick, l'Ontario et le Manitoba sont déjà engagées depuis plusieurs années en deuxième génération.

À court terme : terminer l'éclaircie des deux derniers vergers et de deux tests de descendances ; délimiter le territoire d'utilisation des graines provenant des vergers et des tests éclaircis de première génération.

Conclusion

L'amélioration génétique du pin gris nous a permis d'obtenir, au cours de la première génération, des variétés dont le rendement en plantation est plus

élevé sans nécessairement occasionner une diminution de la densité du bois. La rectitude des tiges et la branchaison, autres caractéristiques intéressantes pour l'industrie, ont probablement été améliorées.

La capacité de production de l'ensemble des vergers et des quelques tests éclaircis sera vraisemblablement suffisante pour combler les objectifs de reboisement tout en maintenant une biodiversité satisfaisante.

La sélection d'un très grand nombre d'arbres-plus dans tout le Québec et des meilleures descendances dans les tests permet de préparer la deuxième génération pour réaliser des gains génétiques plus importants.

Bibliographie

BORDELEAU, C., G. THERRIAULT et J.-F. ROY, 1992. *Insectes et maladies des arbres au Québec.* Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la conservation. 7-8.

BORDELEAU, C., 1998. *Insectes, maladies et feux dans les forêts Québécoises en 1998.* Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la conservation des forêts. 14.

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n `79. 392 p.

DUGAS, R. et J.-C. MERCIER, 1977. *Le pin gris : l'importance de cette ressource et son utilisation actuelle.* Dans : Atelier de travail sur l'aménagement du pin gris. Min. des Terres et Forêts du Québec et Centre de rech. for. des Laurentides : 25-48.

GAGNON, G. et C. PARADIS, 1994. *Insectes et maladies des arbres au Québec.* Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la conservation. 13-14.

GAGNON, G., 1998. *Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises.* Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la conservation des forêts. 26.

GROUPE DE TRAVAIL SUR L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DU MFO, 1996. *État de l'amélioration génétique des espèces forestières au Québec et besoins en plants génétiquement améliorés pour le reboisement.* Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 408. 75 p.

MATYAS, C. et C.W. YEATMAN, 1992. *Effect of geographical transfer on growth and survival of jack pine populations.* Silvae genetica 41(6): 370-376.

POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec.* Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Direction de la recherche forestière. 183 p.

YEATMAN, C.W., 1973. *L'amélioration génétique du pin gris au Québec.* Dans : Amélioration du pin gris au Québec par le comité de recherche en génétique forestière. Gouv. du Québec, min. des Terres et Forêts, Conseil de la recherche et du développement forestiers. Rapport n° 2 : 143-148.

ZHANG, S.Y. et Y.H. CHUI, 1996. *Selection dry fiber weight for higher and better quality jack pine fiber production.* Wood and Fiber Science 28(2) : 146-152.

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

L'ÉPINETTE DE NORVÈGE

Monsieur Gaëtan Daoust, ing.f.
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS - QUÉBEC

Bilan des réalisations du programme d'amélioration génétique de l'épinette de Norvège

Résumé

Ce bilan présente les caractéristiques générales de l'espèce et les faits saillants du programme d'amélioration génétique de l'épinette de Norvège tel qu'il a été entrepris au début des années 80. Les résultats des essais de provenances mis en place avant cette période sont présentés. Les zones d'améliorations proposées sont décrites succinctement de même que les résultats des tests de descendances établis dans chacune de ces zones. On y fait également état des résultats d'études sur la sélection d'arbres résistants au charançon, de l'impact économique de l'amélioration génétique et de la qualité des bois de l'épinette de Norvège.

Introduction

L'épinette de Norvège est introduite depuis si longtemps sur le continent nord-américain qu'il faut presque la considérer maintenant comme une espèce indigène. Au Québec, les premières plantations forestières d'épinettes de Norvège ont été établies au début du XX[e] siècle, soit vers 1915 dans la région du Saint-Maurice. De 1964 à aujourd'hui, près de 200 millions de plants ont été mis en terre et un maximum annuel de plus de 18 millions de semis plantés a été atteint en 1988 (Cornellier, 1995). L'espèce a connu cette popularité compte tenu de sa forte production en plantation qui dépasse généralement les performances des épinettes indigènes. Selon les tables de production de Bolghari et Bertrand (1984), l'espèce peut produire à 35 ans, sur les meilleures stations du Québec méridional, jusqu'à 325 m^3/ha, soit un accroissement annuel moyen de près de 10 m^3/ha/an.

L'épinette de Norvège préfère les sols de texture moyenne à fine, de bien à modérément drainés. Son amplitude écologique est large et englobe les domaines bioclimatiques de l'érablière et de la sapinière. Les stations typiques généralement associées à l'épinette noire et au pin gris sont à éviter. Sa résistance au froid est très bonne et son débourrement est généralement plus tardif que celui de l'épinette blanche. Plusieurs problèmes, comme le manque de synchronisme entre le niveau de débourrement des plants et les conditions climatiques locales du site de reboisement, la dessiccation hivernale associée à une forte exposition aux vents d'hiver ou à des sites forestiers carencés en certains éléments minéraux, les dégâts causés par le charançon et des sites propices aux gelées tardives ont été interprétés comme un manque de résistance au froid chez cette espèce. Là où les plantations d'épinette de Norvège ont échoué, il n'est pas rare de voir d'autres espèces indigènes échouer également.

L'espèce est très susceptible au charançon du pin blanc qui lui occasionne certains retards de croissance et des malformations. En 1987, le charançon du pin blanc devenait officiellement le ravageur le plus important des plantations résineuses au Québec et entraînait une diminution du niveau de reboisement au moyen de cette espèce. D'un rythme moyen de reboisement oscillant entre 7 et 10 millions de plants durant la période 1970-1990, il est présentement sous le seuil des 2 millions (1 770 000 plants livrés en 1997). Planifiés pour satisfaire les besoins estimés à cette période, les cinq vergers à graines régionaux en place offriront une capacité de production de 5 700 000 plants livrables par an à maturité. Chez l'épinette de Norvège, la maturité sexuelle est atteinte généralement vers l'âge de 20 à 30 ans.

Au cours des dernières années, plusieurs études ont été réalisées et ont démontré, malgré les attaques de ce ravageur, le potentiel de croissance de cette espèce. Grâce au suivi effectué depuis 1969 dans un test de provenances à Valcartier, Daoust (1996a) a démontré que le véritable impact, estimé après une première éclaircie, était une réduction de 1 % sur la croissance en hauteur. Plus de 75 % des tiges résiduelles étaient droites et sans défauts majeurs. Cette conclusion a été aussi supportée par une étude menée par Boulet et collab. (1997) qui concluaient que: «À long terme, il n'y a pas d'effet négatif important sur le rendement et la qualité des épinettes de Norvège que l'on cultive dans les plantations dont la densité initiale était élevée». Selon Prégent (1998) : «Même s'il y avait 30 à 40 % de tiges attaquées par le charançon et que ces dommages étaient répartis de façon relativement uniformes, ces tiges pourraient être récupérées lors d'une première éclaircie sélective et il resterait suffisamment de tiges pour obtenir une excellente production». Au niveau génétique des progrès notables ont été réalisés et des clones présentant un bon niveau de résistance au charançon

ont pu être sélectionnés parmi le matériel utilisé dans le programme d'amélioration génétique. Ces clones ont été identifiés grâce à un indice utilisant le rapport du nombre de trous de ponte sur le nombre de chambres nymphales (Lavallée et collab., 1999). Au niveau écologique, Archambault et collab. (1994) ont démontré et recommandé, pour diminuer les problèmes causés par cet insecte, d'éviter de planter l'épinette de Norvège sur des sites mal drainés et à texture fine. Toutes ces études plaident en faveur d'un retour à un niveau plus élevé de reboisement au moyen de cette espèce associé à un programme d'aménagement intensif et à un choix judicieux des sites de reboisement.

Historique des travaux d'amélioration génétique

Au Québec, les premiers tests de provenances ont été planifiés par le Service canadien des forêts (SCF) et établis à la fin des années 50 en collaboration avec le gouvernement du Québec et des compagnies forestières. En 1969, une autre série de tests de provenances, regroupant 44 provenances d'Europe centrale, était établie par le SCF et la Direction de la recherche forestière (DRF) du Québec. Par la suite, les deux organismes ont poursuivi leur collaboration dans la mise en place de plusieurs dispositifs expérimentaux afin de tester de nouvelles sources étrangères ou de nouvelles conditions pédo-climatiques. Plus d'une centaine de provenances sont présentement testées dans le Québec méridional. En 1984, une entente intervenait entre la DRF et le SCF afin d'établir les responsabilités réciproques et de concentrer les efforts sur une stratégie d'amélioration génétique commune. Ainsi, l'aspect amélioration fut pris en charge par la DRF alors que l'étude de la génétique de l'espèce fut confiée au SCF. Depuis, la DRF et le SCF travaillent en étroite collaboration à la réalisation d'objectifs communs.

Les tests de provenances

Dans un premier temps, les tests de provenances ont permis d'identifier les meilleures sources pour le reboisement (Comité d'amélioration génétique, 1983) et la sélection d'arbres-plus pour la réalisation des vergers à graines clonaux (Lamontagne, 1992). Par la suite, ces tests ont permis de suggérer trois zones d'amélioration pour le Québec : (1) la zone des Appalaches, caractérisée par la sapinière à bouleau jaune de l'Est et la sapinière à bouleau blanc de l'Est, (2) la zone des Laurentides, caractérisée par l'érablière à bouleau jaune de l'Est et de l'Ouest et (3) la zone du Saint-Laurent, associée à l'érablière à tilleul (pour la carte des zones, voir le Manuel de foresterie à la page 927). Pour chaque zone, une douzaine de provenances supérieures offrant une supériorité de 12 % en hauteur et de 25 à 30 % en volume à 20 ans ont été recommandées (Corriveau et collab., 1988). Enfin, mentionnons que l'information tirée de ces tests a permis de formuler à la Direction de la production des semences et des plants (DPSP) du MRNQ des recommandations concernant les règles de déplacement des semences et des indications sur les croisements dirigés à favoriser pour la production de semences de qualité génétique supérieure devant alimenter le centre de bouturage de Saint-Modeste.

Les tests de descendances associés aux zones d'amélioration proposées

Pour chacune des zones d'amélioration proposées, des tests de descendances ont été planifiés et établis. Les objectifs de ces tests sont de confirmer les zones proposées et de sélectionner, 10 ans après la plantation, les meilleurs individus des meilleures descendances, afin de constituer une population d'amélioration adaptée à chaque zone. Les tests de descendances ont été distribués à raison de trois par zone et établis dans les régions écologiques les plus représentatives de chaque zone. Le matériel testé comprend plus de 250 descendances réparties en trois groupes. Ces groupes sont : (1) des descendances des provenances recommandées pour le Québec, (2) des descendances obtenues de plusieurs provenances de Pologne offrant un bon potentiel pour le Québec et (3) des descendances de plusieurs plantations forestières du Québec utilisées comme source de semences pour le reboisement dans la majorité des cas. Trois provenances témoins, soit Proulx de Grandes-Piles, Smith de l'Estrie et Istebna de Pologne, ont été utilisées pour fin de comparaison dans tous les tests. Daoust et collab. (1995) ont décrit en détail le principe et le contenu de ces tests, et plus spécifiquement, ceux de la zone des Appalaches.

i) Les tests de descendances de la zone des Appalaches

Dans cette zone, trois tests ont été établis en 1992 à partir de semis de 3 ans, produits en contenants et repiqués en pépinière (1-2). À partir des données de 5 ans après la plantation (8 ans d'âge total), les conclusions suivantes ont pu être tirées. Au niveau général, c'est-à-dire au niveau des provenances, on note chez les cinq provenances les plus productives une grande stabilité dans les trois régions écologiques testées. Leur supériorité en hauteur est 3,5 % par rapport à nos trois provenances témoins. Cette supériorité devrait s'améliorer avec les années comme le démontrent les rendements observés au cours des

Figure 1

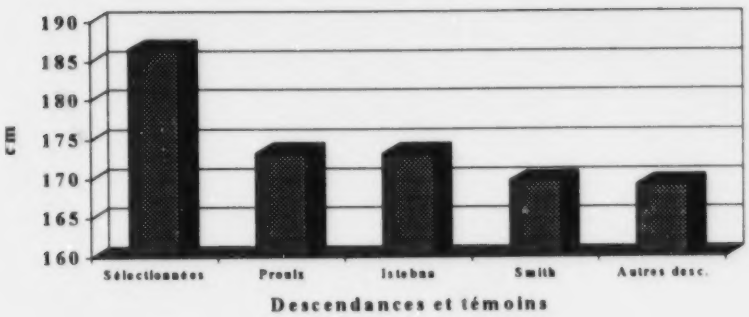


Figure 1. Hauteur moyenne (cm) à 8 ans des descendances sélectionnées, des témoins (Proulx, Istebna et Smith) et des autres descendances testées.

divers mesurages effectués depuis le début de la plantation. Ces provenances supérieures sont : Auce de Lettonie, Suwalki et Istebna de Pologne, trois provenances recommandées à la suite des résultats des tests de provenances d'Europe centrale. À ces provenances s'ajoutent une provenance commerciale de l'Estrie appelée Gould et une provenance appelée Semis-plus de Proulx développée par les améliorateurs de la Direction de la recherche forestière à la fin des années 60. Ces résultats nous donnent déjà des sources intéressantes pour la récolte de semences de qualité génétique supérieure.

À un niveau plus fin, une sélection de 10 % des meilleures descendances démontre, de manière significative, un gain génétique supérieur à celui des trois témoins et des autres descendances testées. Ces descendances sélectionnées offrent un gain génétique en hauteur variant de 10 à 20 % selon la descendance sélectionnée, soit une hauteur variant de 182 à 194 cm par rapport à une hauteur moyenne de 171 cm à 8 ans pour l'ensemble du matériel testé sur les trois sites (figure 1). Cette sélection présente une très grande stabilité dans les trois régions écologiques où les tests ont été implantés, ce qui revient à dire qu'il n'y a pas lieu de subdiviser la zone d'amélioration des Appalaches en zones plus petites. Les améliorateurs peuvent donc développer une population d'amélioration très performante pour toute la zone, simplifiant ainsi le travail et les coûts associés à la mise sur pied de vergers à graines. La majorité des descendances sélectionnées (15/26) sont de Istebna, identifiée lors de travaux de recherche antérieurs. Les autres proviennent d'autres provenances recommandées (6/26) et de plantations commerciales québécoises (5/26).

On prévoit effectuer la sélection finale des meilleurs individus des meilleures descendances en 2001, soit 10 ans après la plantation, de manière à s'assurer de la fiabilité des résultats. En effet, Corriveau et collab. (1988) ont démontré que, pour l'épinette de Norvège, le rang des provenances testées ne changeait plus après 10 ans de plantation. Les provenances performantes à cet âge demeurent performantes jusqu'à la fin de la rotation.

ii) Les tests de descendances de la zone des Laurentides

Pour cette zone, les trois tests de descendances ont été établis au printemps 1994. Le matériel et la méthode utilisés sont similaires à ceux des tests de la zone des Appalaches. Les conditions climatiques printanières des premières années ont été éprouvantes pour le matériel testé et cela dans les trois environnements où les tests ont été établis. Ainsi, comparativement aux résultats des tests de la région des Appalaches, les tests de la zone des Laurentides font ressortir des provenances qui sont bien adaptées aux conditions climatiques continentales. Les résultats, 5 ans après la plantation (8 ans d'âge total), démontrent de manière significative la supériorité de sept provenances, soit l'équivalent d'une sélection de 20 % (7/36) des provenances représentées pour une supériorité en hauteur de plus de 12 % par rapport aux témoins. Six des provenances sélectionnées sont des

provenances recommandées qui avaient été identifiées lors des travaux de recherche sur les tests de provenances d'Europe centrale : il s'agit des provenances Auce de Lettonie, Minskii et Glubokskii de Biélorussie et Bialowieza, Istebna et Augustow de Pologne dont les semences testées proviennent des tests de provenances en place au Québec. La septième est une provenance, appelée Zwierzyniec-Lubelski, nouvellement introduite de Pologne.

Des conditions plus difficiles ont fait ressortir de manière significative deux groupes de descendances très performantes. Le premier groupe, représentant 10 % des descendances testées, offre un gain de croissance en hauteur de 13 à 23 % soit de 17 à 32 cm de supériorité par rapport à l'ensemble du matériel testé et aux témoins. Ces descendances performantes proviennent pour moitié des provenances recommandées et pour moitié de provenances polonaises. Le deuxième groupe, représentant 20 % des descendances testées comprenant le premier 10 % fait ressortir un gain de croissance en hauteur de 7 à 23 %, soit de 10 à 32 cm de gain à 8 ans. Ces tests démontrent un progrès important, le potentiel de l'amélioration génétique et l'importance de la sélection des sources de semences.

Pour accompagner les tests de la zone des Laurentides, un test en champ a été établi en même temps, de manière à évaluer la pertinence de ce type de dispositif. Le principe du test en champ vise à déterminer si on peut évaluer avec précision la performance des descendances sur un site unique bien préparé et relativement homogène où les arbres sont plantés à espacement rapproché (75-100 cm) afin de réduire les coûts associés à l'établissement de plusieurs tests de descendances et l'analyse d'une multitude de données. À ce jour, 5 ans après l'établissement, la corrélation entre les résultats du test en champ et les tests de descendances est très faible. En effet, le choix des meilleures descendances dans le test en champ ne correspond pas au choix des meilleures descendances testées dans les tests réguliers. Seulement 10 descendances sur 26 ont pu être identifiées par le test en champ. Toutefois, ce test est très efficace pour identifier les descendances peu performantes. On pourrait donc, dans un premier temps, utiliser ce type de dispositif pour réduire le nombre de familles à tester dans différentes régions. Le suivi et l'analyse de ce type de dispositif se poursuivent, car il pourrait s'avérer utile pour évaluer la performance des descendances après la fermeture du couvert et sous une compétition intense. De plus, d'autres essais en cours viendront valider ces premières constatations.

iii) Les tests de descendances de la zone du Saint-Laurent

Les trois tests préparés pour cette zone ont été établis au printemps 1998. Un test a été placé en forêt privée en Estrie, en collaboration avec l'unité de gestion du MRNQ. Les deux autres ont été localisés à Harrington et au Témiscamingue respectivement, en collaboration avec Bowater inc. et Tembec. À ce jour, la reprise semble excellente malgré un choc de transplantation assez sévère causé par le printemps sec de 1998. Un test en champ établi à Harrington accompagne cette série de tests.

Sélection d'arbres résistant au charançon du pin blanc

Au cours des dernières années, des travaux de sélection d'arbres résistant au charançon ont été réalisés sous la direction du Dr. Robert Lavallée, entomologiste au SCF-Québec. Ses travaux ont permis d'identifier, parmi la population d'amélioration, des arbres démontrant un bon niveau de résistance à l'insecte. Les descendances de ces arbres seront éventuellement testées pour vérifier la transmissibilité de ce caractère de résistance. Des semences de ces arbres servent également à approvisionner le centre de bouturage du MRNQ. D'autres travaux entrepris sur des tests de descendances ont permis de faire ressortir une variation dans les niveaux de susceptibilité des familles, ce qui ouvre des opportunités pour le développement de familles qui présentent un bon niveau de résistance à l'insecte.

Impact économique de l'amélioration génétique de l'épinette de Norvège

Une étude réalisée en 1998 a permis de démontrer que l'usage de plants améliorés d'épinette de Norvège entraînera des retombées économiques significatives, dépassant largement les sommes investies dans la première phase d'amélioration génétique (Côté et collab., 1999). Cette étude fait également ressortir que les retombées pour les finances publiques et les propriétaires privés sont d'autant plus importantes que les stations sont plus fertiles.

Étude sur la qualité du bois

Une étude conduite dans un test de provenances d'Europe centrale n'a pas permis de faire ressortir de différences entre les provenances pour la densité moyenne du bois juvénile (Blouin et collab., 1994). Toutefois, l'étude faisait ressortir qu'une sélection à trois niveaux (sélection des meilleures provenances

pour la croissance, sélection des meilleurs individus pour la croissance dans ces provenances et sélection parmi ces individus de ceux qui ont une densité supérieure) pouvait permettre de maintenir la qualité du bois, tout en réduisant les variations internes de densité, et de doubler la production en volume.

Stimulation de la floraison

Les traitements, consistant en l'injection d'acide gibbérellique en synchronisme avec des conditions climatiques favorables, ont démontré leur efficacité pour accroître la proportion de clones contribuant à la production de fleurs mâles et femelles et à augmenter le niveau de production dans la majorité des clones d'épinette de Norvège établis en verger à graines. En plus d'être économique, cette technique présente comme avantages d'être efficace pour augmenter la diversité génétique dans les lots de semences et d'augmenter de beaucoup la production de celles-ci (Daoust, 1996b). Elle a permis la réalisation de croisements dirigés qui auraient été impossible à réaliser dans un si court laps de temps.

Culture in vitro

Un projet de recherche, sous la direction du D^re^ Francine Tremblay du Centre de recherche en biologie forestière, a été entrepris au printemps 1999 et vise principalement à multiplier par embryogenèse somatique des semences issues de croisements dirigés d'arbres présentant un bon niveau de résistance au charançon. Les semis produits seront évalués dans des tests clonaux et les meilleurs clones seront identifiés.

Autres dispositifs de recherche en place

Au cours des dernières années, plusieurs autres dispositifs ont été préparés ou mis en place. Ainsi, des tests clonaux, des tests de descendances bi-parentales, des tests d'évaluation de la population d'amélioration et des tests d'évaluation de la résistance familiale au charançon font l'objet de suivi et d'études et permettront l'avancement du programme d'amélioration génétique de l'espèce.

Remerciements

Il va de soi que tous ces travaux n'ont pu être réalisés sans l'implication et le travail soutenu de nombreuses personnes et sans la collaboration de plusieurs organismes privés et publics que nous aimerions remercier par ces quelques lignes. Nos remerciements s'adressent aussi à l'équipe technique actuelle, Johanne Claveau, René Pâquet et Serge Légaré pour leur dévouement constant.

Références

Archambault, L.; Morissette, J.; Lavallée, R.; Comtois, B. 1993. Susceptibility of Norway spruce plantations to white pine weevil attacks in southern Quebec. Can. J. For. Res. 23:2362-2369.

Blouin, D.; Beaulieu, J.; Daoust, G.; Poliquin, J. 1994. Wood quality of Norway spruce grown in plantations in Quebec. Wood and Fiber Sci. 26(3):342-353.

Bolghari, H.A.; Bertrand, V. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Min. Énerg. Ressour., Serv. rech., Mémoire n° 79. Québec. 392 pages.

Boulet, B.; Daoust, G.; Stipanicic, A.; Aubin, É.; Claveau, J.; Pâquet, R. 1997. Le charançon du pin blanc et l'épinette de Norvège : plus de peur que de mal! Affiche présentée au Carrefour de la recherche forestière, 18-19 février 1997. 16 pages.

Comité d'amélioration génétique des arbres forestiers. 1983. A. Corriveau, G. Vallée, éd. Amélioration génétique des essences résineuses au Québec : Recherche et développement. Environ. Can., Serv. can. for., Minist. Énerg. Ressour. Québec.

Cornellier, P. 1995. Position du ministère des Ressources naturelles du Québec concernant le problème du charançon du pin blanc. Pages 111-117 In R. Lavallée et G. Bonneau, org. et éd. Compte-rendu du Colloque sur le charançon du pin blanc. Sainte-Foy, Qc, 27-28 septembre 1994. Ressour. nat. Can., Serv. can. for., Région du Québec, Ressour. nat. Québec, Dir. rech. for., Sainte-Foy, Qc.

Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G. 1988. Phenotypic stability and productivity of central european provenances in Quebec, Canada. Pages 28-52 In L.-G. Stener, M. Werner ed. Proc. IUFRO Working Party S2.02-11, in Sweden 1988. Inst. For. Improv. Rep. N° 11.

Côté, J.-F.; Daoust, G.; Masse S.; Prégent, G. 1999. Impact économique de l'amélioration génétique de l'épinette de Norvège. Ressour. nat. Can., Serv. can. des for. Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, Qc. Notes de rech. n° 8. 4 pages.

Daoust, G. 1996a. Épinette de Norvège 2 - Charançon du pin blanc 1. L'Aubelle, 112:12-14.

Daoust, G. 1996b. Flower induction in conifers: a tool to increase genetic diversity in reforestation. 14th North American Forest Biology Workshop, Forest Management Impacts on Ecosystem Processes, June, Université Laval, Sainte-Foy. p.133.

Daoust, G.; Stipanicic, A.; Légaré, S.; Claveau, J.; Lapointe, G. 1995. Tests génécologiques d'épinettes de Norvège pour la zone d'amélioration des Appalaches - Production et établissement des dispositifs. Ressour. nat. Québec, Dir. rech. for., Rapp. int. n° 390. 134 pages.

Lamontagne, Y. 1992. Vergers à graines de première génération et tests de descendances implantés au Québec pour les espèces résineuses. Bilan des réalisations. Gouv. Québec, minist. For., Dir. rech. Mém. rech. n° 106. 40 pages. Québec.

Lavallée, R.; Daoust, G.; Rioux, D. 1999. Screening Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) for resistance to white pine weevil (Pissodes strobi (Peck)). Pages 41-50 In Physiology and Genetics of Tree-Phytophage Interactions. Gujan (France), Aug. 31 - Sept. 5, 1997. Ed. INRA, Paris.

Prégent, G. 1998. L'éclaircie des plantations. Minist. Ressour. nat. Québec, Forêt Québec, Dir. rech. for. Mém. rech. n° 133. 37 pages.

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

LES MÉLÈZES LARICIN ET HYBRIDES

Monsieur Ante Stipanicic, ing.f., M.Sc.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

Bilan des réalisations du programme d'amélioration génétique des mélèzes

Résumé

Ce bilan donne un bref aperçu des travaux effectués dans le cadre de l'amélioration génétique des mélèzes au Québec. Les caractéristiques du mélèze d'Europe, du mélèze du Japon, du mélèze laricin et du mélèze hybride sont présentées avec les résultats sommaires des travaux effectués et les recommandations concernant le transfert des graines. La plasticité remarquable du mélèze d'Europe et du mélèze laricin permet d'utiliser de bonnes provenances de ces espèces sur tout le territoire de la forêt commerciale sous réserve de respecter les exigences pédologiques de chaque espèce. Pour le mélèze hybride, il faut tenir compte de la variabilité interfamiliale et il est nécessaire d'évaluer la rusticité et la productivité de chaque nouveau croisement. Le mélèze du Japon, le moins rustique des quatres, peut être utilisé seulement dans le reboisement du sud du Québec.

Introduction

Au Québec, trois espèces et un hybride du genre *Larix* Mill. sont présentement utilisés à l'échelle opérationnelle pour le reboisement : le mélèze laricin comme espèce indigène et le mélèze d'Europe, le mélèze du Japon et leurs hybrides comme espèces introduites.

Les plus vieilles plantations connues de mélèzes exotiques datent des années 40-50 (actuelle plantation d'Hydro-Québec près de Drummondville, par exemple). Cependant les mélèzes n'étaient pas très populaires dans le reboisement au Québec. Jusqu'à tout récemment, les pépinières du MRNQ livraient environ 1 million de plants, dont la plus grande partie était du mélèze laricin. Comme dans les autres provinces du Canada (MORGENSTERN 1986), mais aussi dans les États du nord et du nord-est des États-Unis (JEFFERS et ISEBRANDS 1974), la réputation des mélèzes était ternie par quelques expériences malheureuses et par la méconnaissance des exigences et surtout des caractéristiques des espèces exotiques de mélèze. Dans la même mesure que l'utilisation de graines de bonne qualité génétique sur des sites adéquats peut donner des résultats spectaculaires, le reboisement de terrains qui ne conviennent pas aux mélèzes ou l'utilisation de graines de mauvaise qualité génétique aboutit très vite à un échec.

La situation a changé dans les dernières années. Grâce aux résultats obtenus dans les plantations opérationnelles et expérimentales, les mélèzes reprennent actuellement leur place et l'importance qu'ils méritent dans le reboisement au Québec. De 195 000 plants de mélèzes exotiques en 1997, on a planté 471 000 plants en 1998. Pour 1999, la prévision était de 950 000 plants. La quantité planifiée pour l'an 2000 est de 1,95 million de plants et elle dépasse 2 millions pour 2001. Pour la même période, le nombre de plants de mélèze laricin varie entre 700 000 et 800 000 par année. Ce changement reflète surtout l'intérêt de quelques compagnies forestières qui comptent sur les mélèzes à croissance rapide pour assurer l'approvisionnement futur de leurs usines. Ainsi Cartons Saint-Laurent inc., Forex Saint-Michel inc. et Tembec inc. ont mis en marche des programmes qui visent à utiliser du mélèze hybride ou du mélèze d'Europe dans la production de cartons, de panneaux de particules ou de bois de sciage.

Caractéristiques du mélèze

L'attrait le plus important du mélèze est sans doute sa productivité. Selon les tables de production de BOLGHARI et BERTRAND (1984), les mélèzes d'Europe et du Japon sont les résineux les plus productifs au Québec. Sur les meilleures stations, ces espèces peuvent produire jusqu'à 310 m^3/ha à 30 ans, ce qui donne un accroissement annuel moyen qui dépasse 10 m^3/ha.a. Le mélèze laricin, quoique moins productif à cause de son accroissement en diamètre plus faible, peut atteindre 194 m^3/ha à 30 ans. La productivité élevée des mélèzes est caractérisée par le fort accroissement à jeune âge, ce qui rend ces espèces particulièrement intéressantes pour les plantations à courte rotation.

La densité basale du bois de mélèze varie entre 0,38 pour le mélèze du Japon et 0,40 pour le mélèze laricin en plantation. Selon BALATINECZ (1986), le bois de mélèze est de très bonne qualité et utilisable pour un grand nombre de produits (construction, ameublement, menuiserie, bois de finition, panneaux). À cause de ses composés chimiques extractibles (arabinogalactanes) présents surtout dans le bois adulte, les copeaux de mélèzes ne sont utilisés qu'en mélange jusqu'a 25 % avec d'autres espèces dans le procédé kraft pour la production de

papier et de cartons. Le bois de mélèze est considéré comme un bois résistant à la carie. Cependant, les qualités du bois récolté dans les jeunes plantations peuvent varier par rapport aux qualités de bois de peuplements naturels (ZHANG 1998).

La large variabilité génétique à l'intérieur de chaque espèce et aussi entre les espèces de mélèze offre la possibilité d'améliorer de nombreuses caractéristiques importantes (la croissance, la forme, la résistance aux maladies et aux insectes, l'adaptabilité aux différents sites ainsi que les propriétés mécanique et chimique du bois). Les hybrides interspécifiques surpassent souvent les espèces parentales, ce qui ouvre une voie particulièrement intéressante à l'amélioration génétique sans danger de diminuer la biodiversité de l'espèce (BAILIAN et WICKOFF 1994).

Le mélèze laricin est réparti sur tout le territoire forestier du Québec et il n'y a pas de restrictions climatiques pour son utilisation dans le reboisement.

Le mélèze d'Europe a aussi une bonne résistance au froid et il peut être utilisé dans tous les domaines de la forêt commerciale. Il corrige facilement le gel de ses pousses provoqué par les gelées hâtives.

Le mélèze du Japon par contre est moins résistant et il s'accommode bien du climat qui prévaut dans la sous-zone de la forêt feuillue (CAUBOUE 1988). Cependant, nos tests nous ont démontré qu'il existe une variabilité prononcée de rusticité entre les différentes provenances de cette espèce.

La résistance au froid du mélèze hybride se place entre celle de ses espèces parentales (BAILIAN et WICKOFF 1994). Il est donc nécessaire d'évaluer chaque nouvelle famille dans des tests appropriés avant de l'utiliser dans le reboisement.

Les mélèzes préfèrent les sols profonds de texture moyenne (loam-sableux) avec un drainage bon à modéré et un pH de 4 à 7. Toutefois, le mélèze laricin s'adapte à un éventail plus large des sols et il pousse aussi bien sur le terrain sableux que sur les sols argileux à drainage imparfait. Les mélèzes exotiques par contre ne supportent pas les sols lourds avec un mauvais drainage (CAUBOUE 1988, NIELSEN 1989).

Tous les mélèzes sont des espèces héliophiles. Le dégagement des jeunes plantations est indispensable à la survie des plants de mélèze.

Le débourrement chez les mélèzes est très hâtif. Ce sont les espèces les plus précoces parmi nos arbres forestiers. Cette caractéristique pose des problèmes dans l'organisation et la gestion des travaux de reboisement aussi bien dans les pépinières que sur le terrain. La floraison chez les mélèzes a lieu quelque peu avant le débourrement, en général bien avant la fin de la période des gelées tardives, ce qui compromet souvent la pollinisation et la formation des graines.

Les mélèzes commencent à fleurir jeunes, en général à l'âge de 6 à 10 ans et les années de bonne fructification sont espacées de 2 à 10 ans. Il est donc nécessaire de faire une bonne gestion de la réserve de graines pour assurer la continuité d'approvisionnement des pépinières avec des graines de bonne qualité.

Ravageurs

Bien qu'on considère les mélèzes comme des espèces sans problème majeur de maladies et d'insectes, il ne faut surtout pas diminuer l'importance de quelques ravageurs.

La tenthrède du mélèze, le porte-case du mélèze et la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont les défoliateurs les plus dangereux. Il est vrai que les mélèzes, essences à feuilles caduques, sont plus tolérants à la défoliation que les autres espèces résineuses à feuilles persistantes. Les mélèzes peuvent survivre à des défoliations moyennes à graves pendant neuf années consécutives. Cependant, une défoliation totale pendant quatre années suffit à tuer l'arbre (MARTINEAU 1985). La défoliation par le porte-case se fait plus tôt au printemps, ce qui perturbe davantage les capacités des arbres à récupérer. Une défoliation même modérée provoque une diminution de l'accroissement et l'affaiblissement de l'arbre, qui devient susceptible aux attaques d'autres insectes et maladies.

Le dendroctone du mélèze est considéré comme le ravageur le plus dangereux des mélèzes exotiques et indigènes dans les Maritimes, mais nous l'avons trouvé aussi dans les plantations au Québec. Les larves de ce perceur forment des galeries entre le bois et l'écorce, surtout sur les arbres déjà affaiblis ou malades. Ces ouvertures dans l'écorce permettent aux champignons pathogènes de pénétrer dans le cambium et dans le bois, ce qui provoque la perte de l'arbre à plus ou moins court terme.

La maladie la plus importante des mélèzes au Québec est la carie racinaire, ou armillaire couleur de miel, qui se développe dans les racines des arbres déjà touchés par d'autres accidents. Cette maladie peut provoquer une mortalité élevée dans les jeunes plantations. Après la coupe, les sites des anciens peuplements dégradés sont souvent propices à cette maladie, surtout si les racines de jeunes arbres sont déformées par la mauvaise plantation.

Quelques rouilles et rouges des aiguilles provoquent occasionnellement la défoliation, surtout dans les jeunes plantations et dans les pépinières. Le chancre cytosporéen est observé quelquefois dans les plantations, tandis que le chancre européen du mélèze, plus dangereux, est présent seulement dans le nord-est des États-Unis et au Nouveau-Brunswick. Il est connu que la résistance au chancre varie selon l'espèce et selon la provenance. Les mélèzes originaires d'Europe centrale, ainsi que les mélèzes hybrides sont moins susceptibles que les mélèzes des Alpes et les mélèzes du Japon.

Les chevreuils peuvent occasionnellement faire des dégâts dans les jeunes plantations en broutant les flèches terminales. Cependant le porc-épic, qui se nourrit de l'écorce des arbres, est beaucoup plus nuisible et, s'il n'est pas réprimé, il peut endommager énormément les plantations de mélèze.

Amélioration génétique

Actuellement, le Ministère s'appuie sur un bon réseau de sources de graines améliorées, développé dans le cadre du programme d'implantation de vergers à graines, qui a été mis en marche en 1980. La capacité de production annuelle est évaluée à 4,3 millions de plants livrables pour les mélèzes exotiques et à 24 millions pour le mélèze laricin (PÉRINET *et al.* 1998). Toutefois, les besoins futurs en plants de mélèze hybride issus des familles les plus productives seront comblés en grand partie par la production végétative (bouturage). En effet, les différentes contraintes rencontrées dans le processus de production des graines de mélèze hybrides (faible floraison de clones sélectionnées, faible taux de germination des de graines) nous oblige à avoir recours aux méthodes alternatives de reproduction des plants de qualité supérieure.

Il faut noter que plusieurs plantations expérimentales ont été transformées en vergers à graines après l'éclaircie génétique. Cette pratique permet d'accélérer l'utilisation du matériel sélectionné dans la production de graines. Par contre, il est nécessaire d'adapter les dispositifs expérimentaux, de façon qu'ils se prêtent bien à l'aménagement d'une source de graines, une fois que les mesures prévues par l'expérience ont été complétées.

Les premiers tests de provenances de mélèze au Québec ont été établis en 1960, sous la direction de l'Institut forestier national de Petawawa et en collaboration avec la compagnie forestière CIP. Au gouvernement du Québec, le programme d'amélioration génétique a été mis en marche en 1970, dans le but de fournir les informations et les recommandations nécessaires à l'utilisation de différentes espèces exotiques et indigènes de mélèze dans le reboisement au Québec. Depuis le début du programme, 114 dispositifs expérimentaux dont 25 tests de provenances et 43 tests de descendances ont été installés à travers le Québec, en utilisant le réseau des arboretums ou en collaboration avec les compagnies forestières. Le programme englobe le mélèze d'Europe, le mélèze du Japon, le mélèze laricin et leurs hybrides. Le mélèze de Sibérie a été ajouté au programme à cause de son importance potentielle pour la forêt boréale.

Mélèze d'Europe et mélèze du Japon

La stratégie d'amélioration pour ces espèces est basée sur la sélection d'arbres dans les plantations commerciales et dans les meilleures provenances ou descendances de plantations expérimentales. Les vergers à graines ont été établis avec des greffes ou des semis issus des arbres sélectionnés. Actuellement, notre service possède 280 clones qui sont répartis dans six parcs à clones.

Les résultats de nos tests confirment ceux de BOYLE *et al.* (1989) : les provenances polonaises (Blizyn, Cracovie, Kowari) surpassent les provenances des Alpes (la hauteur moyenne à 15 ans de plantation dans l'arboretum de Villeroy est de 11,1 m par rapport à 6,2 m pour les trois provenances alpines). Cependant les provenances de sources secondaires, issues de vergers à graines de première génération, sont en général plus performantes que les provenances de sources primaires : avec 9,6 m pour la hauteur moyenne, un verger à graines interprovenances d'Allemagne se place entre les provenances Blizyn et Kovari. Il faut noter que la même tendance est constatée dans les sept tests installés en 1977 dans les sept arboretums. Ces résultats démontrent qu'il est grandement profitable d'utiliser du matériel sélectionné dans les plantations

ou les dispositifs expérimentaux locaux. Cette constatation nous a poussés à mettre l'accent sur les éclaircies génétiques de nos plantations expérimentales. Ainsi, 14 dispositifs expérimentaux (surface totale de 47,3 ha) de mélèze d'Europe ont été éclaircis à partir de 1995. Le principe général de ces éclaircies génétiques était d'éliminer environ 70 % des arbres dans une plantation. Seuls les meilleurs arbres des meilleures provenances ou descendances ont été conservés.

En ce qui concerne le déplacement des provenances recommandées, il faut souligner la stabilité du mélèze d'Europe et du mélèze du Japon. La provenance Blizyn pour le premier et la provenance Joliette pour le deuxième occupent toujours les premières places pour chaque espèce dans tous les tests de la série. Les provenances recommandées pour le mélèze d'Europe peuvent donc être déplacées jusqu'à la limite du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. Toutefois, il faut toujours respecter les exigences pédologiques de l'espèce. Pour le mélèze du Japon, le déplacement de provenances recommandées est limité au sous-domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul. Pour cette espèce, comme pour le mélèze d'Europe, nous recommandons surtout nos propres vergers à graines. En effet, malgré l'espoir que nous avons mis dans les vergers à graines de l'étranger (en particulier ceux de l'île d'Hokkaido au Japon), c'est la source québécoise de Joliette qui se classe comme la meilleure dans la série de tests de 1977 (hauteur moyenne de 10,4 m par rapport à la meilleure provenance japonaise qui a atteint 9,3 m pour la période de 15 ans dans l'arboretum de Villeroy).

Le verger à graines installé près de la municipalité de Batiscan et éclairci en 1994 est actuellement notre meilleure source de semences pour le mélèze du Japon. Des 79 provenances ou descendances (7 900 tiges) présentes dans la plantation, il en reste, après les deux éclaircies génétiques basées sur la hauteur moyenne de chaque lot, 42 (400 tiges) sur une superficie de 1,8 ha. Il faut noter que la meilleure descendance a atteint une hauteur moyenne de 8,4 m en 9 ans de plantation, par rapport à la plus faible dont la hauteur moyenne était de 6,8 m. Le matériel présent dans ce dispositif expérimental transformé en verger à graines ne se prêtait pas au calcul d'héritabilité, mais nous prévoyons un gain génétique de 5 à 10 %, comme le suggère MORGENSTERN (1986).

Mélèze hybride

Plusieurs hybrides interspécifiques suscitent beaucoup d'intérêt à cause des qualités cumulées des espèces parentales. L'hybride entre le mélèze d'Europe et le mélèze du Japon et son réciproque sont actuellement les plus utilisés. Cependant, plusieurs auteurs (BOYLE, EYNSTEINSSON, FOWLER, PÂQUES) soulignent les avantages des autres types d'hybrides interspécifiques : mélèze laricin x mélèze du Japon, mélèze de Sibérie x mélèze d'Europe et aussi les croisements triples entre l'hybride de mélèze d'Europe x mélèze du Japon et le mélèze de Dahurie ou le mélèze de Sibérie.

Présentement, notre programme d'amélioration des mélèzes vise surtout l'hybride entre le mélèze d'Europe et le mélèze du Japon. La stratégie d'amélioration est composée de deux étapes (VALLÉE 1993). La première comprend l'amélioration des espèces parentales par la sélection des arbres à l'intérieur des tests de provenances ou de descendances. Dans la deuxième étape, les hybrides interspécifiques sont obtenus par croisement entre les arbres sélectionnés de chaque espèce. Les familles obtenues sont testées et les plus performantes pourront être reproduites pour les besoins du reboisement. De plus, nous avons installé 25 clones sélectionnés des deux espèces dans un parc à clones sous abri. Les graines issues de pollinisation libre serviront à évaluer l'aptitude générale à la combinaison des clones et les cinq meilleurs clones de chaque espèce seront utilisés pour les croisements dirigés. La valeur des nouvelles familles sera aussi évaluée dans des tests et les meilleures familles formeront la nouvelle variété multifamiliale recommandée pour le reboisement.

Nos premières données concernant le mélèze hybride MEU x MEJ ont été obtenues dans l'étude multistationnelle mise en marche dans les sept arboretums en 1977. Des résultats de 15 ans, on peut tirer les conclusions suivantes :

- il y a une grande variabilité entre les différents hybrides, même s'il s'agit des mêmes espèces. Dans l'arboretum de Villeroy, la hauteur moyenne des hybrides varie entre 11,4 m et 8,2 m, ce qui représente un gain de croissance en hauteur de 60 %, et de 15 % par rapport au témoin (mélèze d'Europe 7,1 m) ;
- les hybrides de mélèze démontrent aussi une grande stabilité. Le classement selon le rang pour la hauteur moyenne est semblable entre les sept tests, ce qui permet, selon les connaissances actuelles, de retenir une seule

zone d'amélioration pour tout le territoire du Québec.

Cependant, en raison de la variabilité entre les familles, les nouveaux croisements doivent être testés avant leur utilisation dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune, et dans les domaines plus nordiques.

La supériorité de croissance en hauteur après 15 ans de plantation est illustré au tableau 1, où nous avons résumé les données de deux arboretums : Verchères comme le plus méridional et Dablon comme le plus nordique. L'hybride le plus productif (verger à graines du Danemark FH 211) est comparé aux deux témoins (mélèze d'Europe et mélèze du Japon) utilisés à l'époque dans le reboisement courant.

Tableau1

	Verchères		Dablon	
	HM (m)	Supériorité %	HM (m)	Supériorité %
MEH	12,9	--	10,5	--
MEU	8,5	52	6,7	56
MEJ	11,4	13	9,1	15

Ces données nous permettent d'extrapoler le gain en volume marchand sur 30 ans, selon les tables de rendement (tableau 2):

Tableau2

	Verchères		Dablon	
	V (m^3/ha)	Supériorité %	V (m^3/ha)	Supériorité %
MEH	249	--	173	--
MEU	131	90	88	96
MEJ	222	12	139	24

Les résultats des croisements effectués avec nos clones sélectionnés sont aussi très encourageants. Un test a été installé en 1993 dans l'arboretum de Verchères. Quarante familles issues de croisements dirigés ont été comparées avec deux témoins de l'espèce pure et un verger à graines allemand. Après cinq ans de plantation, la meilleure famille a atteint une hauteur moyenne de 5,0 m et elle est dépassée seulement par le verger allemand (hauteur moyenne 5,2 m), ce qui représente un gain en croissance, pour la hauteur moyenne, de 22 % par rapport aux deux témoins, qui mesuraient en moyenne 4,1 m. Notons que le résultat obtenu avec le verger à graines allemand (gain de 28 %) correspond au gain obtenu en Europe, où cet hybride dépassait de 23 % le témoin de mélèze japonais et de 31 % le témoin de mélèze d'Europe (MORGENSTERN, communication personnelle).

L'éclaircie génétique a été pratiquée dans les onze dispositifs composés de mélèzes hybrides et de mélèzes d'espèces pures. Les graines récoltées contiendront en général un mélange de graines hybridées et non hybridées et leur valeur génétique sera évaluée dans les tests de descendances appropriés.

Comme prévu par différents auteurs (MORGENSTERN 1996), nous envisageons un gain génétique en volume de 5 à 10 %, étant donné l'intensité de l'éclaircie (environ 75 %) que nous avons effectuée.

Mélèze laricin

L'amélioration génétique du mélèze laricin est basée sur la sélection d'arbres dans les peuplements naturels et l'établissement de vergers à graines de semis ou clonaux qui sont éclaircis selon les résultats obtenus après 10 ans de plantation. Notons que cela correspond à l'âge suggéré par SMITH (1985), qui recommande l'âge de 11 ans comme optimal pour la sélection selon la hauteur dans le cas du mélèze laricin. Un verger à graines situé dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune a été éclairci en 1997. Présentement, des travaux sont en cours pour effectuer l'éclaircie génétique cet automne dans l'autre verger à graines situé dans le canton de Remigny (Abitibi). Les calculs de gain génétique pour la hauteur moyenne et le volume selon différentes intensités de sélection seront complétés sous peu. L'éclaircie sélective a été effectuée aussi dans neuf autres dispositifs expérimentaux de mélèze laricin, dont deux sont particulièrement importants, parce qu'ils étaient composés de plus de 400 descendances représentant le sud du Québec et l'est de l'Ontario.

Les sources de graines disponibles assurent un approvisionnement adéquat en graines améliorées de première génération. Le verger à graines du canton de Remigny et les dispositifs éclaircis de l'arboretum de Dablon sont recommandés pour la zone de la forêt boréale, tandis que le verger de Duchesnay et les tests éclaircis de l'arboretum de Lotbinière peuvent être utilisés pour les zones de la forêt mélangée et de la forêt feuillue.

Jusqu'à présent, il ne nous a pas été possible de mettre en marche un programme plus avancé avec cette espèce. Cependant, il serait très utile d'entreprendre des travaux dans ce sens. Une augmentation de la production et surtout l'amélioration des qualités du bois et de la forme de tige serait sans doute possible (20 à 50% selon MORGENSTERN 1986). Ce gain serait très important

pour une espèce qui peut être utilisée pour le reboisement des terrains moins productifs et moins riches où les autres espèces à croissance rapide ne peuvent pas être plantées. En plus, un tel programme permettrait la formation de matériel sélectionné, nécessaire aux croisements dirigés et la formation d'hybrides avec les autres espèces, en particulier le mélèze du Japon. Mentionnons que le mélèze laricin fait partie de six espèces du programme d'amélioration génétique dans les Maritimes (FOWLER 1986).

Mélèze de Sibérie et mélèze de Dahurie

Nous n'avons pas de programme particulier pour ces deux espèces. Cependant, à cause de leur tolérance au froid, nous les avons incluses dans notre programme d'amélioration génétique du genre mélèze. Selon la littérature (BOYLE 1989), le croisement du mélèze d'Europe avec le mélèze de Sibérie est considéré comme l'hybride le plus productif de la forêt boréale du nord-est de l'Europe et mériterait d'être étudié chez nous.

Les résultats que nous avons obtenus dans les tests comparatifs de l'arboretum de Dablon et de Matapédia placent le mélèze de Sibérie à la dernière place après le mélèze d'Europe. À Dablon, la hauteur moyenne varie entre 5,2 m et 7 m et à Matapédia, entre 4,6 m à 6,1 m pour les trois provenances présentes dans le test. Il est évident qu'un tel échantillon n'est pas suffisant pour évaluer une espèce, dont l'aire naturelle s'étend sur l'immense territoire du nord de l'Europe et de l'Asie. Selon MORGENSTERN (1986), ce sont les provenances du sud de la zone de répartition du mélèze de Sibérie (régions du sud du massif de l'Oural et du fleuve Ienisseï) qui présentent un intérêt pour la forêt boréale du Québec et de l'Ontario. Un test de 60 descendances introduites de la Russie a été installé dans l'arboretum de Chibougamau en 1995, en collaboration avec l'Institut forestier national de Petawawa.

Autres études liées au programme d'amélioration génétique des mélèzes

Les mélèzes ont leurs particularités qui demandent l'appui de différentes techniques pour résoudre les problèmes qu'on peut rencontrer dans le processus d'amélioration génétique des espèces forestières. Ainsi, nous travaillons en étroite collaboration avec l'équipe de reproduction qui s'occupe de l'aspect de la pollinisation contrôlée et de la propagation du matériel sélectionné. Différentes méthodes sont étudiées ou ont été mises au point pour la récolte et la conservation du pollen, l'application du pollen sur les fleurs, l'organisation des vergers à graines sous abri et la multiplication végétative par bouturage ou par embryogenèse somatique. Tous ces travaux sont indispensables à l'avancement du programme et pour appliquer les résultats obtenus à la pratique du reboisement.

Collaborateurs

Les principaux collaborateurs du programme d'amélioration génétique de mélèzes sont MM. Gaston Lapointe, tech. for., et Michel Villeneuve, ing.f., M.Sc.

Remerciements

Nous remercions d'abord M. Gilles Vallée, ing.f., D.SC. qui a initié en 1970 le programme d'amélioration génétique des mélèzes au gouvernement du Québec, et qui a été durant toutes ses années de service intimement lié à la planification et au déroulement de ce programme.

Nous voulons souligner que tous les travaux effectués et tous les résultats obtenus sont le fruit de la collaboration entre nos équipes techniques et professionnelles et plusieurs organismes privés et publics. Nos remerciements vont à toutes les personnes impliquées dans le projet « mélèze » en souhaitant que tous ces efforts contribuent à améliorer et à augmenter l'efficacité du reboisement au Québec.

Références

BAILIAN, L. et G.W. WYCKOFF, 1994. *Breeding strategies for* Larix decidua, L. leptolepis *and their hybrids in the United States*. Forest Genetics 1(2), 1994. p. 65 à 72.

BALATINECZ, J.J., 1986. *Opportunities for larch in solid wood products*. 1986 Larch Workshop Proceedings, Fredericton, N.B. p. 1 à 15.

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche, Mémoire n° 79. Québec. 392 pages.

CAUBOUE, M., 1988. *Le reboisement au Québec, choix des essences résineuses*. CERFO, Sainte-Foy, 38 p.

EYSTEINSSON, TH., 1995. *Strategy for larch breeding in Iceland*. Proceedings, Meeting of IUFRO working party S2.02-07, Remningstorp, Suède 1995 : 135 à 140.

FOWLER, D.P. *et al.*, 1970. *Tree reeding in the maritimes regions, 1968-1969*. Compte rendu de la douzième conférence du CCAAF, Québec 1970 : 3-13.

FOWLER, D.P. 1986. *Strategies for the genetic improvement of important tree species in the Maritimes*. SCF-Maritimes, Rapport d'information M-X-156, 30 p.

JEFFERS, R.M. et J.G. ISEBRANDS, 1974. *Larch potential in the north-central states*. Proceedings 8th CSFTIC, Columbia, Missouri : 80-85,

MARTINEAU, R., 1985. *Insectes nuisibles des forêts de l'est du Canada*. Éditions Marcel Broquet, 283 p.

MORGENSTERN, E.K., 1986. *Genetic variability and potential for gain*. Dans : 1986 Larch Workshop Proceedings, Fredericton, N.B. : 65-72.

NIELSEN, C., 1989. *A literature review of the soil-site requirements of eastern white pine, Norway spruce and larch*. FGF Group, Brockville, Ontario Ministry of natural Resources, FFN 11-89, 6 p.

PÂQUES, L.E., 1992. *Current status of inter-and intraspecific hybridization*. Proceedings of IUFRO Contennial Meeting of the IUFRO Working Party S2.02-07, Berlin 1992 :108-122.

PÉRINET, P. *et al.*, 1998. *Projet de développement de la culture intensive des arbres à croissance rapide*. Gouv. du Québec, MRN-Forêt Québec, Direction de la recherche forestière, Rap. int. n° 440. 38 p.

Smith, G.P., 1985. *Juvenil- adult height correlation in 36 tamarack* (Larix laricina [Du Roi] K.Koch) *families at five ages*. B.Sc. Thesis, Univ. N.B.

VALLÉE, G. et A. STIPANICIC, 1993. *A review of breeding programs and strategies for larch species*. Breeding Strategies of important Tree Species in Canada, Natural Resources Canada, M-X 186 E :25-39.

ZHANG, T. et J.-F. GINGRAS, 1998. *Aménagement forestier pour la qualité du bois et la plus grande valeur du produit fini*. Progrès forestier, Automne 1998 :49-54.

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

LE PIN BLANC

Monsieur Gaëtan Daoust, ing.f.
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS - QUÉBEC

Note : Ce texte a été préparé conjointement avec M. Jean Beaulieu, ing.f., Ph. D., Service canadien des forêts - Québec

Bilan des réalisations du programme d'amélioration génétique du pin blanc

Résumé

Ce bilan passe en revue les principales caractéristiques du pin blanc et décrit les principales étapes du programme d'amélioration génétique qui a été entrepris par le Service canadien des forêts depuis la fin des années soixante-dix. Les résultats les plus importants du programme sont rapportés en ce qui concerne les gains génétiques possibles et l'identification du matériel génétiquement supérieur.

Introduction

Parmi les résineux indigènes au Québec, le pin blanc est sans conteste le plus majestueux. Les dimensions qu'il peut atteindre et la qualité de son bois en font l'une des espèces les plus convoitées par l'industrie. Les produits commerciaux qui en sont issus présentent une très grande valeur économique et sont fort appréciés en ébénisterie. La rareté de la matière première et le prix de ces produits finis ont toutefois favorisé la création de plusieurs produits de remplacement, notamment dans la catégorie des moulures et cadrages. Pour ce qui est de la ressource, près de 80 % des réserves disponibles se situent dans les régions administratives de l'Outaouais et de l'Abitibi-Témiscamingue (Beaulieu, 1992). Abondantes au début du XX^{e} siècle, les ressources en pin blanc ont diminué graduellement au fil des ans. Plusieurs raisons peuvent être invoquées, mais parmi celles-ci retenons : pression de récolte élevée, techniques d'aménagement peu adaptées à favoriser la régénération naturelle du pin blanc, contrôle des feux de forêt (système naturel de régénération) et un pathogène virulent, la rouille vésiculeuse du pin blanc. En ce qui concerne les populations naturelles, Beaulieu et Simon (1994) ont démontré que les populations de la vallée du Saint-Laurent étaient appauvries génétiquement par rapport aux populations de la région de l'Outaouais, où subsistent encore de grandes concentrations de pins. Toujours selon ces auteurs, la récolte répétée des meilleurs sujets dans la vallée du Saint-Laurent pourrait avoir causé une diminution des niveaux de diversité génétique.

En plantation, sur les sites de qualité maximale, la productivité du pin blanc se classe derrière les mélèzes hybrides, le pin rouge et l'épinette de Norvège mais demeure comparable au pin gris, pin sylvestre, mélèze laricin et épinette blanche (Bolghari et Bertrand, 1984). Une productivité en volume total de 238 m^{3}/ha à 35 ans (AAM de 6,8 m^{3}/ha/an) est attendue sur les sites de qualité maximale à un espacement de 2 m x 2 m. En ce qui concerne la place de l'espèce dans le programme de reboisement, celle-ci est plutôt au dernier plan. Ainsi sur un total de 152 M de plants résineux livrés en 1997, moins de 1,2 M étaient des pins blancs. En 1974, selon Lamontagne (1976) il s'en était produit deux fois plus, soit 2,5 M. Les raisons pour expliquer ce faible niveau varient selon les régions et les tenures (privée ou publique). En plus de deux ravageurs majeurs, le charançon du pin blanc et la rouille vésiculeuse sur lesquels nous reviendrons dans les paragraphes suivants, d'autres facteurs sont à considérer. Ainsi en Estrie, l'espèce est peu valorisée compte tenu de la rareté des débouchés potentiels à court terme pour les produits de petites dimensions (< 25 cm de diamètre) (Dulac, 1998). Huit ans après la plantation, la moyenne provinciale pour la survie des plants est de 53 %, alors que la survie dans la Mauricie et le Centre du Québec est encore plus problématique avec seulement 18 % (Trottier, 1998). Mis à part les régions de l'Outaouais et de l'Abitibi-Témiscamingue, le pin blanc est principalement reboisé sur terrains privés.

Un colloque sur le pin blanc s'est tenu à Mont-Laurier les 3 et 4 juin 1998 et un recueil des conférences a été publié et est disponible au Conseil de la recherche forestière du Québec. Plusieurs aspects sylvicoles et autres y ont été traités. Il en est ressorti qu'il y avait déjà des connaissances et des expériences pertinentes à considérer et qu'il faut utiliser ces informations pour poursuivre les efforts pour régénérer naturellement ou artificiellement le pin blanc et contrôler ses ravageurs. Les discussions n'ont fait ressortir aucun traitement miraculeux mais plutôt quelques pistes de solutions aux principaux problèmes identifiés. Par exemple, bien que la plantation sous couvert puisse entraîner certains avantages pour le contrôle des dommages causés par le charançon et la rouille, il faut favoriser l'établissement de telles plantations dans des peuplements de peupliers et de bouleaux sur des sites de qualité moyenne (Boulet, 1998) où la végétation arbustive n'est pas trop compétitive.

Les ravageurs : la rouille vésiculeuse et le charançon du pin blanc

Selon Laflamme (1998), la rouille vésiculeuse du pin blanc est le principal obstacle à la régénération du pin

blanc sur la majeure partie du territoire québécois. Comme il s'agit d'une maladie exotique, observée pour la première fois en 1906, l'espèce offre peu de résistance naturelle. Quelques moyens de contrôle comme l'élagage des branches basses et l'éradication des Ribes spp. (hôte alterne de la maladie) sont disponibles mais demeurent toujours laborieux à appliquer autant sur terrain privé que public. Bien que l'étude de la virulence des diverses souches du champignon pathogène soit à peine amorcée, on connaît toutefois bien les conditions favorables à l'apparition du champignon. En utilisant ces connaissances, Lavallée (1986) a proposé pour le Québec des zones de susceptibilité ainsi qu'un guide sur le choix des sites à reboiser et des risques encourus pour la rouille et le charançon (Lavallée, 1991).

Bien qu'il provoque rarement la mort des pins subissant son attaque, le charançon du pin blanc, un insecte indigène, cause des déformations sévères chez les jeunes sujets en détruisant leur flèche terminale. Comme le pin blanc ne possède pas de bourgeons latéraux le long de son axe principal et que sa capacité de former des bourgeons adventifs est faible, l'espèce a peu d'aptitudes, comparativement aux épinettes, à corriger les déformations. L'intensité de l'attaque et par le fait même des dommages est influencée par les conditions environnementales où sont plantés les pins. Ainsi, des pins placés en milieu ouvert et en faible densité de plantation seront complètement déformés par le charançon et présenteront une multitude de fourches donnant aux arbres un aspect arbustif. À l'opposé, des pins plantés sous couvert en présence d'espèces compagnes ou en forte densité seront moins sévèrement attaqués et seront aidés par la compétition à retrouver une dominance apicale et à corriger leurs défauts. Le contrôle mécanique offre, lorsque bien appliqué, une méthode de lutte curative efficace contre le charançon (Lavallée et Daoust, 1998) mais exige des interventions annuelles. Une étude visant à étudier les variations de la résistance familiale au charançon a été entreprise en collaboration avec le Dr Robert Lavallée du SCF.

La fructification

Certains auteurs ont décrit en détail le cycle reproductif des pins (Owens et Blake, 1986). Ce qu'il faut retenir pour cette espèce et les autres pins à faisceau de cinq aiguilles, c'est qu'il s'agit d'un cycle de trois ans où les fleurs mâles sont initiées à l'automne (année 1) et les fleurs femelles le printemps suivant. Les conditions climatiques prévalant au moment des initiations peuvent donc favoriser un sexe mais pas nécessairement l'autre. La pollinisation s'effectue vers la fin du mois de juin (année 2) mais la fécondation dans le cône aura lieu seulement le printemps suivant (année 3). La maturation des cônes et des semences se produira au cours de l'année 3 vers la fin août ou début septembre. Chez le pin blanc, la reproduction sexuelle débute vers l'âge de 10 à 20 ans et des intervalles de 3 à 10 ans peuvent s'écouler entre les bonnes années de production de semences.

Génétique et amélioration

À la fin des années soixante-dix, un programme d'amélioration génétique du pin blanc a été élaboré par Corriveau et Lamontagne (1977). Il prévoyait la création de variétés génétiquement améliorées par la sélection et l'hybridation de génotypes supérieurs (arbres-plus) quant à leur croissance, forme et résistance à la rouille vésiculeuse et au charançon. Leur raisonnement était basé sur la littérature scientifique qui mettait en évidence la présence de variation d'ordre génétique dans l'expression de ces différents caractères. Leur stratégie était essentiellement basée sur la sélection d'arbres-plus dans des peuplements naturels soumis à l'impact des ravageurs.

Des sélections d'arbres-plus ont été entreprises dès 1976 par le SCF afin de constituer une première population d'élevage. Ainsi de 1976 à 1986, plus de 150 sélections, réparties dans cinq populations, ont été faites dans des peuplements naturels. Les cinq populations font référence à des régions du Québec (Outaouais, rive nord du Saint-Laurent, rive sud du Saint-Laurent) ou à de grands peuplements naturels (lac des Araignées en Estrie, rivière Schyan dans l'Outaouais). Les arbres sélectionnés ont été multipliés par greffage et établis en parc de croisement sur la Réserve nationale de la faune de Cap-Tourmente. À partir de 1992, des productions significatives de semences et de pollen ont été observées. Dès lors, divers plans de croisements ont été entrepris afin d'évaluer, entre autres, les aptitudes générales et spécifiques à la combinaison de chaque arbre-plus et leurs aptitudes à la culture in vitro (embryogenèse somatique). La réalisation de ces plans est toutefois laborieuse puisque les semences prennent deux ans à se former, période au cours de laquelle surviennent divers problèmes (avortement, insectes, etc.) en plus des dommages causés aux fleurs par les sacs d'isolation. À ce jour, plus de 200 lots de semences de croisements contrôlés ont été obtenus. Des lots de semences issues de pollinisation libre ont été récoltés sur la majorité des arbres-plus présents dans le parc de croisement. Ces semences ont permis d'amorcer un test d'évaluation de ce matériel en 1998. Les semis sont présentement à la pépinière de Valcartier.

Les semences produites dans le parc de croisement mais non requises pour le programme d'amélioration génétique sont récoltées par l'unité de gestion des Laurentides du MRNQ pour approvisionner le centre de

semences de Berthierville. Suite à une entente, établie à l'été 1999 entre le SCF et la Division de la production des semences et des plants (DPSP) du MRNQ, cette dernière s'impliquera dans l'éclaircie et l'entretien du parc de croisement de manière à assurer une production de semences de bonne qualité génétique pour les années à venir. De plus, les arbres sélectionnés et placés dans le parc de croisement par le SCF ont été utilisés par le MNRQ en complément des sélections régionales effectuées dans les unités de gestion pour la réalisation des six vergers à graines régionaux qui devraient offrir un potentiel de production de plus de 3 M de plants livrables par an. Dans la plupart des vergers, à l'exception de ceux de Verchères et d'Aubin-de-Lisle, la production demeure toutefois encore marginale puisque les arbres n'ont pas encore atteint leur plein développement. Toutefois les responsables escomptent y faire de bonnes récoltes au cours des prochaines années. Dans les vergers de pin blanc, les scolytes des cônes sont à surveiller car ils ont démontré qu'ils pouvaient anéantir des récoltes prometteuses.

i) Les tests de descendances - Série I

Parallèlement à la sélection des arbres-plus, un échantillonnage des populations québécoises de pin blanc, par la récolte de semences, a été entrepris dès le début du programme d'amélioration génétique. De même, plusieurs lots de semences provenant de provinces ou d'états américains voisins ont été obtenus grâce à divers collaborateurs. Au dernier décompte, plus de 1200 lots de semences sont enregistrés et conservés à -18 °C au Centre de foresterie des Laurentides. Ces lots de semences ont permis d'amorcer une étude (E600) visant à caractériser la variabilité génétique et à évaluer la rusticité et la résistance à la rouille vésiculeuse. Ainsi dès 1982, pour la Série I de cette étude, des tests de descendances regroupant plus de 160 populations représentées par plus de 300 descendances ont été élaborés et ensemencés en serre. Par la suite, les semis ont été repiqués et cultivés en pépinière pendant trois ans. En 1986, trois tests ont été installés sous couvert dans des bandes de 2 et 3 m de largeur dégagées dans des jeunes peuplements feuillus denses à dominance de peuplier faux-tremble d'origine de coupe totale. Les tests sont localisés dans diverses régions du Québec, soit à Fort-Coulonge en Outaouais, à Notre-Dame-du-Rosaire au Lac Saint-Jean et à Saint-Elzéar de Bonaventure dans la Baie des Chaleurs. Pour diverses raisons, dont un faible taux de survie, le test de Notre-Dame-du-Rosaire a été éliminé l'année suivante de la Série I. Pour les deux autres sites, la survie était supérieure à 80 % après 6 ans. À cet âge, la hauteur moyenne atteignait 134 cm à Fort-Coulonge et 98 cm à Saint-Elzéar de Bonaventure. Malgré un entretien intensif (dégagement, application de répulsifs) au cours des cinq premières années, il est devenu évident que peu d'informations utiles pourraient être tirées de ces deux tests. Onze ans après la plantation, le taux de survie à Saint-Elzéar était de 46 % et la moitié des survivants étaient atteints de la rouille et leur croissance était très faible. Le test de Fort-Coulonge a été abandonné pour les mêmes raisons et pour les dommages sévères causés par le broutage des lièvres. De cette Série I, il faut donc conclure malgré les efforts importants consentis qu'aucune information pertinente sur les variations génétiques reliées à la croissance en plantation n'a pu être tirée. Toutefois les suivis nous ont permis de constater la virulence de la rouille vésiculeuse dans ce type de plantation sous couvert partiel et cela pour l'ensemble des familles testées.

Les données prélevées sur le matériel expérimental de la Série I lors de leur production en serre (1 an) et en pépinière (3 ans) ont permis l'examen de la structure génétique des provenances de pin blanc du Québec et des patrons de variation existant entre les provenances (Li et collab., 1997). Ainsi pour ces caractères juvéniles, l'analyse a démontré que les provenances du sud-est, situées dans les Appalaches (Estrie et Vermont) avaient une croissance supérieure de même qu'un débourrement et un aoûtement plus tardif que les provenances du nord-ouest (Vallée du Saint-Laurent et Outaouais). Cette étude a permis de formuler des recommandations à la DPSP du MRNQ pour établir les règles de déplacements des semences. Sur la base de cette étude, deux zones d'amélioration génétique pour le pin blanc au Québec ont pu être délimitées et suggérées provisoirement.

ii) Les tests de descendances - Série II

La Série II entreprise en 1984 regroupait 266 descendances appartenant à 67 provenances. Cette fois, les tests ont été établis sous couvert dans des bandes dégagées de 3 m dans des peuplements matures d'espèces pionnières dont les bandes résiduelles de 4 ou 5 m avaient été éclaircies. Ces tests ont été établis en 1988 à Notre-Dame-du-Laus en Outaouais, à Grand-Mère en Mauricie et à Notre-Dame-du-Rosaire au Lac-Saint-Jean. Comme pour la Série I, les tests de la Série II ont fait l'objet de suivi intensif et de plusieurs traitements (application de répulsifs, dégagement mécanique, rabattement de fougères) au cours des premières années. Après 6 ans en plantation, la survie était supérieure à 85 % dans les trois tests. À 9 ans, environ 10 % des pins étaient attaqués par le charançon à Notre-Dame-du-Laus et Grand-Mère et les dommages étaient légers comparativement aux attaques observées en plein découvert. Peu importante au début, la rouille a pris des proportions importantes notamment dans le test de Notre-Dame-du-Rosaire, où 40 % des arbres présentaient un chancre au tronc ou sur une branche en 1999. À Notre-Dame-du-Laus, ce

taux s'élevait à 19 % en 1998 alors qu'à Grand-Mère les dégâts étaient plus limités et atteignaient seulement 8 % en 1999. Lors de la prise des relevés, les arbres atteints au tronc ont été coupés afin de contrôler ce fléau alors que les autres ont été élagués à mi-hauteur environ. Le tableau 1 présente les caractéristiques moyennes des trois tests de la Série II 12 ans après la plantation.

Tableau 1. Survie, hauteur et diamètre moyens des pins blancs dans les tests de la Série II en 1999.

Test	Survie (%)	Hauteur moyenne (m)	Diamètre moyen (cm)
N.-D.-du-Laus	68	4,29	5,35
Grand-Mère	69	4,06	4,16
N.-D.-du-Rosaire	53	3,28	3,22

Sur le plan de la génétique, Beaulieu et collab. (1996) ont analysé, 10 ans après l'ensemencement (6 ans après la plantation), les données recueillies dans les tests de cette Série II. Les conclusions suivantes ont été tirées pour la croissance en hauteur :

- il existe beaucoup de variation, principalement à l'intérieur des provenances et des descendances;

- des différences significatives entre les provenances et entre les descendances à l'intérieur des provenances ont pu être démontrées, donc la sélection de provenances et de descendances pourrait conduire à un gain réel de croissance;

- la hauteur à 4 ans en pépinière est fortement et positivement corrélée avec la hauteur à 10 ans dans les tests. À l'aide de ce critère, on pourrait donc éliminer les descendances les moins intéressantes de la pépinière et réduire ainsi le nombre de descendances à tester;

- les provenances et les descendances sont stables dans les trois environnements testés, donc la sélection des meilleures provenances et des meilleures descendances pourrait se faire pour ces trois régions en même temps;

- parmi les 10 meilleures provenances qui ont été identifiées, 9 proviennent de l'extérieur du Québec. Dans l'ordre décroissant, ces 10 provenances sont : Little River, Vermont; Niagara, Ontario; New-Hampshire; Fryeburg-Has, Maine; Oconto River, Minnesota; Cewaygo Co., Michigan; Minden, Ontario; Lac Balsam, Québec; Howard City, Michigan; Wells-Goodwin, Maine. Toutefois, dans le groupe des provenances 10 à 20, nous trouvons six provenances québécoises et trois ontariennes. Comme on peut le constater, il semble possible d'utiliser des sources provenant de latitude inférieure pour améliorer la croissance tout en conservant un bon niveau de rusticité. Des provenances québécoises connues comme rivière de l'Aigle et lac Usborne se retrouvent dans la moyenne des provenances testées alors que les provenances Montebello et Parc de la Mauricie se retrouvent dans le tiers inférieur.

En utilisant les hauteurs à 10 ans, une sélection des 50 meilleures descendances, représentant environ 20 % des descendances testées, procurerait un gain génétique moyen de 14 % (9-29 %), soit un gain en hauteur réel moyen à 10 ans de 26 cm (17 à 54 cm). Une sélection plus intense, c'est à dire 10 % des descendances testées, aurait fourni un gain génétique moyen supérieur atteignant 17 % mais aurait restreint prématurément la base génétique du programme d'amélioration. Des 50 meilleures descendances, 22 sont du Québec, 6 de l'Ontario, 10 du Vermont, 5 du Michigan et 7 d'autres États américains.

En 1997, trois arbres-élites ont été sélectionnés dans chacune des descendances supérieures, ajoutant au gain génétique associé à leur origine, leur gain individuel. Ces arbres-élites ont été propagés par greffage et installés dans un nouveau parc de croisement situé dans le secteur d'amélioration de Valcartier. Ce matériel sera utilisé éventuellement pour la poursuite du programme d'amélioration. Il y aura toutefois un délai de 10 à 15 ans avant le début de la fructification.

Sur un plan plus fondamental, les tests de Grand-Mère et Notre-Dame-du-Rosaire ont permis de proposer une nouvelle méthode d'estimation de la variance génétique additive, fondée sur les effets combinés de la parenté génétique et de la position relative des arbres. Cette nouvelle méthode a produit une estimation raisonnable des héritabilités individuelles au sens strict dans les deux tests où elle a été appliquée (Li et collab., 1996).

Dans la Série II, deux autres tests de descendances ont été établis en 1989 dans des friches agricoles à la manière d'un damier, en alternant le pin blanc avec l'aulne rugueux européen. Un bloc témoin sans aulne a également été établi. Cette technique sylvicole visait à contrôler l'intensité lumineuse en faisant croître le pin sous couvert pour le protéger des attaques du charançon. Les résultats décrits par Lavallée et Daoust (1998) font ressortir les difficultés de faire croître deux espèces sur un même site. Lorsque l'aulne pousse trop vite, comme dans le test établi à Lévis, il réduit la

croissance des pins et, à la manière d'un fouet, cause des dégâts aux bourgeons terminaux. Dans le test de Valcartier, le charançon n'a pu être contrôlé par l'essence compagne. Toutefois cette dernière a contribué à éduquer les pins attaqués puisque la croissance des deux espèces sur ce site était similaire. Dans ce test où le charançon sévit depuis 1992, le contrôle mécanique maintient le niveau d'attaque sous le seuil de 4 %.

iii) test de descendances - E596

Grâce au Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (Volet 1), un test comprenant 30 provenances composées d'un nombre variable de descendances (5 à 20) a été initié en collaboration avec Tembec inc. Le test a été établi en 1997 à Béarn au Témiscamingue, une région à fort potentiel pour le pin blanc où aucun test n'avait encore été établi.

Techniques d'induction florale

Entre 1990 et 1992, quelques essais d'induction florale ont été réalisés en serre sur des greffes en conteneurs à l'aide de traitements combinés (taille racinaire, stress de chaleur et pulvérisation d'acides gibbérelliques de types 4 et 7 ($AG_{4/7}$). Malgré une forte variation clonale, de bons résultats ont été obtenus en moyenne pour la production de fleurs mâles et femelles. Certains ramets, de 1,5 à 2 m de hauteur, ont produit plus de 200 fleurs femelles et plus de 500 fleurs mâles selon la période d'application et le traitement utilisé. Toutefois, comme il s'agissait des mêmes clones que ceux établis dans le parc de croisement et que ces derniers produisaient des fleurs sans traitement d'induction, nous avons mis fin à ces travaux afin de libérer des ressources humaines et financières pour d'autres priorités du projet de génétique du SCF. Dans le parc de croisement, quelques essais d'étranglement de branches ont permis de constater la stimulation de la floraison mâle et femelle.

Les espèces exotiques

Dans l'espoir de pouvoir transférer par hybridation interspécifique (croisement entre espèces génétiquement compatibles) des gènes de résistance à la rouille, quelques espèces de pins exotiques, de la même sous-section (*strobi*) et provenant d'Asie, région d'origine de la rouille vésiculeuse, ont été introduites et établies en plantation. À ce jour, le *Pinus Peuce* et le *P. koraiensis* démontrent une certaine adaptation bien que le premier semble très susceptible à un rouge (*Lophodermium* spp.), pathogène s'attaquant aux aiguilles. Le *P. Griffithii* s'est révélé très sensible au chancre scléroderrien et tous les arbres ont dû être éliminés.

Par le passé, plusieurs généticiens ontariens, dont le Dr C. Heimburger, ont mis au point du matériel exotique bien adapté et pouvant présenter des avantages pour le contrôle de la rouille. Nous avons récupéré une partie de ce matériel pour nos travaux d'hybridation. Ainsi 3 clones de *P. Griffithii*, 12 clones de *P. koraiensis* et 25 clones de *P. Peuce* ont été établis dans le parc de croisements de Cap-Tourmente et semblent bien adaptés aux conditions climatiques environnantes. Une vingtaine de croisements ont été réalisés jusqu'à maintenant.

Perspectives d'avenir

Malgré le peu d'efforts consentis en proportion de l'importance écologique et économique de l'espèce, des progrès importants ont été accomplis, notamment au sujet de l'étude de la génétique de l'espèce, de l'identification de sources supérieures et des règles de déplacement des semences. La principale difficulté qui subsiste demeure la susceptibilité de l'espèce à la rouille vésiculeuse. À long terme (15-20 ans), l'hybridation interspécifique pourrait certainement apporter quelques éléments de solutions. Mais il faudra tester les hybrides obtenus, autant pour leur adaptation, leur croissance, leurs qualités que pour leur résistance réelle à la rouille, ce qui n'est pas évident à réaliser. Les biotechnologies, notamment le génie génétique, pourraient se révéler à court terme une alternative beaucoup plus intéressante. Les techniques de transformation sont au point et la multiplication in vitro du pin blanc est possible (Garin et collab., 1998); il reste donc à trouver les gènes conférant la résistance, ce qui ne devrait pas tarder compte tenu de la possibilité d'utiliser des gènes antifongiques à large spectre pouvant provenir d'autres espèces végétales.

Au cours des prochaines années, le SCF entend poursuivre les études entreprises sur la génétique de l'espèce, la production d'hybrides, l'étude de la virulence des diverses souches de rouille et les biotechnologies. Il devra laisser la place à un autre responsable pour la partie amélioration qui ne relève plus de sa mission depuis la dernière revue de programmes en 1995. Un projet pourrait être proposé prochainement par le Service de la génétique et de la reproduction à la Direction de la recherche forestière de Forêt Québec, qui verra à le soumettre au Conseil des partenaires et au processus d'identification des priorités de recherche.

Remerciements

Depuis le début de ce programme au SCF, plusieurs personnes ont contribué à son développement et à son avancement. Bien qu'on ne puisse remercier personnellement toutes ces personnes, nous aimerions souligner la contribution du regretté Dr Armand

Corriveau et de la Dre Ariane Plourde qui a pris la relève pendant quelques années. Nos remerciements s'adressent aussi à l'équipe technique actuelle, René Pâquet et Serge Légaré, pour leur dévouement constant. Enfin, nous remercions sincèrement nos collaborateurs du MRNQ à la Direction de la recherche forestière, à la Division de la production des semences et des plants et dans les unités de gestion où nos travaux sont réalisés.

Références

Beaulieu, J. 1992. Structure génétique des populations naturelles de pins blancs (*Pinus strobus* L.) au Québec

et influence de leur répartition spatiale. Thèse de doctorat. Université de Montréal, Montréal, Qué. 284 p.

Beaulieu, J., Plourde, A., Daoust, G. et L. Lamontagne. 1996. Genetic variation in juvenile growth of Pinus strobus in replicated Quebec provenance-progeny tests. Forest Genetics 3(2):103-112.

Beaulieu, J. et J. P. Simon. 1994. Genetic structure and variability in *Pinus strobus* in Quebec. Can. J. For. Res. 24:1726-1733.

Bolghari, H. A. et V. Bertrand. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Min. Énerg. ress., Serv. rech., Mémoire n° 79. Québec. 392 p.

Boulet, B. 1998. Un pin blanc vulnérable. *Dans* Du pin blanc pour l'avenir c'est possible, recueil des conférences du colloque tenu à Mont-Laurier les 3 et 4 juin 1998. Conseil de la recherche forestière du Québec. pp. 13-24.

Corriveau, A. G. et Y. Lamontagne. 1977. L'amélioration génétique du pin blanc au Québec. Pêches Environ. Can., Cent. Rech. For. Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Rapp. inf. LAU-X-31. 26 p.

Dulac, S. 1998. L'importance, les besoins et les précautions pour le Syndicat des producteurs de bois de l'Estrie en regard du pin blanc. *Dans* Du pin blanc pour l'avenir c'est possible, recueil des conférences du colloque tenu à Mont-Laurier les 3 et 4 juin 1998. Conseil de la recherche forestière du Québec. pp. 75-80.

Garin, E., Isabel, N. et A. Plourde. 1998. Screening of large numbers of seed families of Pinus strobus L. for somatic embryogenesis from immature and mature zygotic embryos. Plant Cell Rep. 18:37-43.

Laflamme, G. 1998. La rouille vésiculeuse du pin blanc, ça se contrôle. *Dans* Du pin blanc pour l'avenir c'est possible, recueil des conférences du colloque tenu à Mont-Laurier les 3 et 4 juin 1998. Conseil de la recherche forestière du Québec. pp. 41-48.

Lamontagne, Y. 1976. Pin blanc. *Dans* Amélioration des espèces forestières au Québec. Qué. Min. Terres et For. Comité de Recherche en Génétique forestière, Mémoire n° 30. 169-176.

Lavallée, A. 1986. Zones de vulnérabilité du pin blanc à la rouille vésiculeuse au Québec. For. Chron. 62:24-28.

Lavallée, A. 1991. La protection du pin blanc. Cours no. 21, Formation continue de l'OIFQ. L'Aubelle. No. 86 - Octobre 1991. 12 p.

Lavallée, R. et G. Daoust. 1998. Lutte contre le charançon du pin blanc : revue des méthodes et résultats d'application. *Dans* Du pin blanc pour l'avenir c'est possible, recueil des conférences du colloque tenu à Mont-Laurier les 3 et 4 juin 1998. Conseil de la recherche forestière du Québec. pp. 49-63.

Li, P., Beaulieu, J., Daoust, G. et A. Plourde. 1997. Patterns of adaptive genetic variation in eastern white pine (Pinus strobus) from Quebec. Can. J. For. Res. 27:199-206.

Li, P., Beaulieu, J. Magnussen, S., Daoust, G. et A. Plourde. 1996. Application de méthodes d'analyse spatiale à deux tests génétiques de pin blanc. Ressour. nat. Canada, Serv. can. for., Cent. for. Laurentides. Sainte-Foy, Qc. Rapp. inf. LAU-X120F. 14 p.

Owens, J. N. et M. D. Blakes. 1986. Production de semences forestières. Service canadien des forêts, Institut forestier national de Petawawa, Chalk River, On. Rapp. inf. PI-X-53F.

Trottier, F. 1998. Performance des plantations établies par le ministère des Ressources naturelles dans les forêts publiques du Québec entre 1986 et 1995, Direction de l'assistance technique, MRN, Québec. Publ. N° RN97-3105.

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

LES FEUILLUS NOBLES

Monsieur André Rainville, ing.f, M.Sc.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

Le programme d'amélioration génétique des espèces feuillues au Québec : Bilan des 10 premières années

Au Québec, les feuillus ont longtemps été plantés à des fins ornementales, ou réservés à l'aménagement de brise-vent et à la protection des berges contre l'érosion (Dumont 1995). Toutefois, de 1988 à 1998, plus d'un million de plants d'espèces feuillues ont été mis en terre chaque année en vue de la production de bois d'œuvre. Sur les 21 espèces utilisées, quatre totalisent plus de 81 % des plants mis en terre, soit le bouleau jaune (37%), le chêne rouge (26%), l'érable à sucre (12%) et le frêne de Pennsylvanie (6%). Le taux de survie de ces plantations est toutefois très faible; par exemple, après 5 ans, seulement 12 % des bouleaux jaunes plantés en forêt publique sont encore vivants ; calculée en mètres de hauteur à l'hectare, la hauteur cumulative demeure stable et même diminue selon l'espèce entre les âges de 1 et 5 ans (MFO 1992). Le portrait est semblable en forêt privée.

La cause première de ces échecs est le manque d'entretien, conséquence d'un manque de connaissances ou de transfert de connaissances à divers niveaux. La culture de feuillus nobles en champs est en effet très exigeante; le propriétaire devra y investir temps et argent s'il veut obtenir du succès. On sait maintenant qu'un des facteurs primordiaux de réussite est l'élimination totale ou partielle de la végétation herbacée en milieu agricole (Truax 1995 ; von Althen 1977). En milieu forestier, l'entretien vise essentiellement à maintenir la végétation concurrente à une hauteur inférieure à celle des semis, afin d'éviter l'étouffement des plants (IQAFF 1998).

La culture des feuillus en plantation exige aussi la mise en place de mesures de protection contre plusieurs prédateurs : les principaux sont les chevreuils, les mulots et les lièvres. Pour obtenir des billes de qualité, il peut aussi s'avérer nécessaire d'effectuer des tailles de formation et d'élagage.

La culture des feuillus en plantations est exigeante, autant en temps qu'en argent. Le Québec doit-il continuer à investir dans cette voie ?

La rareté croissante, voire la disparition, des bois feuillus de qualité au Québec est apparente (Déry 1989). Comme conséquence, l'industrie du sciage de bois feuillu et les fabricants de meubles du Québec doivent importer des États-Unis une forte proportion de leur matière première puisque les bois de qualité ne sont plus disponibles ici. En même temps que la qualité et la quantité des feuillus diminuent dans les forêts du Québec, on assiste à un abandon massif des terres agricoles ; 33 000 hectares sont délaissés à chaque année. Ces terres représentent un haut potentiel de croissance pour la culture de feuillus nobles en raison de leur fertilité (Caron 1994); elles sont aussi situées à proximité des industries de transformation.

Un programme d'amélioration génétique appliqué aux espèces feuillues doit être axé sur la qualité des arbres plutôt que sur leur croissance (Kriebel et Gabriel 1969). Une amélioration de la qualité des tiges permet en effet 1) d'augmenter les revenus (Clausen 1973 ; Zobel et Talbert 1984), 2) de réduire les rejets, les pertes et les produits secondaires lors de la transformation, et 3) de réduire les coûts d'éducation des plantations (nombre de tailles de formation et d'élagage). En second lieu seulement, les arbres devraient avoir un taux de croissance rapide (Karki 1983). En effet, une amélioration simultanée de la croissance permettra aussi aux plants de se libérer plus rapidement de la végétation concurrente et réduira la période de rotation.

Améliorer quelles espèces et selon quels critères?

Le chêne rouge, le bouleau jaune, le bouleau blanc et le frêne blanc ont été retenus comme espèces prioritaires. Les critères de sélection pour ces espèces sont l'adaptation climatique, la dominance apicale, l'angle d'insertion et la grosseur des branches, qui interagissent pour déterminer la forme des arbres.

Quelques autres sont considérées comme deuxième priorité. Ce sont le noyer noir, l'érable à sucre et le noyer cendré. Un tableau synthèse des dispositifs feuillus mis en place à la DRF est présenté à la fin.

En plus de ses responsabilités sur l'amélioration génétique des espèces feuillues, le titulaire actuel du projet a aussi cru important de participer à divers projets d'acquisition de connaissances en sylviculture des plantations, en collaboration avec M. Denis Robitaille de la DRF.

Chêne rouge

1. Caractéristiques de l'espèce et stratégie d'amélioration

Le chêne rouge est très utilisé au Québec (meubles, planchers, placages). D'ailleurs, une exploitation intensive associée au défrichage pour l'agriculture a causé sa rareté, ce qui fait qu'on le retrouve actuellement sur les sites moins fertiles (sols minces ou très sableux) qui ne lui permettent pas d'atteindre son plein développement. L'espèce connaît une production régulière et abondante de graines, mais la prédation par les chevreuils, écureuils, insectes, etc. a comme conséquence qu'il faut plus de 500 glands pour obtenir un plant d'un an. Sous couvert, les semis survivent rarement plus de 2 ans. Dans les trouées, leur croissance est rarement suffisante pour concurrencer les rejets et la végétation environnante (Sander 1990), dont l'érable à sucre.

La stratégie d'amélioration de base pour le chêne rouge consiste à sélectionner des arbres-plus en forêt pour établir des vergers à graines clonaux de pollinisation libre. En parallèle, des tests de provenances-descendances sont établis pour définir les limites de déplacement des semences, délimiter des zones d'amélioration et identifier des sources d'approvisionnement supérieures

2. Historique des travaux et résultats

De 1990 à 1994, 163 arbres-plus de chêne rouge ont été identifiés par le personnel des régions. Des greffons ont été récoltés et le greffage a été réalisé à Duchesnay. En 1996, deux vergers à graines étaient établis par la DPSP, un à Saint-Ours (Région 06) et l'autre à Buckingham (Région 07). Ces vergers sont actuellement en production.

À l'automne de 1990, des récoltes de glands ont eu lieu au Québec, ainsi que dans deux provenances du Vermont et quatre de l'Ontario. En 1993, quatre tests représentant 91 descendances de 15 provenances étaient installés dans cinq régions écologiques allant d'est en ouest. Les surplus de production étaient expédiés dans deux régions au climat plus rigoureux, soit le Saguenay et la baie des Chaleurs. À l'âge de 5 ans, un pré-échantillonnage a été réalisé dans trois des cinq tests dans le but d'évaluer la variabilité parmi les huit critères relatifs à la qualité des arbres. Ces mesures ont permis de constater qu'il existe une forte relation entre la hauteur et le diamètre des arbres ($r = 0,87$). Ces mesures de croissance ne permettent pas de discriminer entre les meilleures descendances et les moins bonnes puisqu'il n'y a pas de différence significative ; par contre, seules 16 descendances communes aux trois tests ont servi à l'analyse. Il est possible que l'addition d'autres descendances change le portrait. La moyenne de hauteur était de 2,54 m (cv = 19%), mais elle variait significativement d'un site à l'autre.

Parmi les huit critères servant à évaluer la qualité des arbres, sept étaient particuliers alors qu'un seul représentait une évaluation globale. Les analyses ont fait ressortir que chacun des sept critères particuliers était faiblement lié à l'évaluation globale, et que celle-ci était faiblement liée à la croissance ($r = 0,58$). En contrepartie, 93 % de la variation totale entre les descendances était expliquée par cinq critères, soit la hauteur, le diamètre de la cime, le nombre de branches importantes et de verticilles, le nombre d'avortements du bourgeon terminal et le nombre de branches à tailler.

En 1998, ces dispositifs ont été mesurés sur la base de l'échantillonnage de l'année précédente; les analyses sont en cours actuellement.

Quant aux plants en provenance des États-Unis et de l'Ontario, qui devaient venir compléter les tests de provenances-descendances établis en 1993, deux catastrophes consécutives ont réduit à néant le travail qui y avait été investi. Les plants survivants ont tout de même été installés dans trois plantations, soit à Saint-Anselme, Sainte-Agnès de Dundee et l'Ile aux Allumettes.

Frêne d'Amérique

1. Caractéristiques de l'espèce et stratégie d'amélioration

Le frêne d'Amérique est une espèce à privilégier sur les sites agricoles, tout comme le chêne rouge (Robitaille et Dumont 1993). Il est caractérisé par

une grande valeur économique, une amplitude écologique importante, une régénération naturelle peu abondante et une forte dominance apicale dans un milieu ouvert. Au Québec, le frêne d'Amérique se retrouve partout dans les domaines écologiques 1 et 2 (Thibault 1989), en compagnie de l'érable à sucre, du chêne rouge et du cerisier. Il représente généralement entre 1 % et 5 % de la surface terrière, ce qui signifie qu'il est peu abondant (Majcen, comm. pers.). En brise-vent, sa croissance en hauteur au cours des 5 premières années varie de 0,5 à 1m/année, ce qui en fait une espèce intéressante (C.P.V.Q. 1990).

La stratégie d'amélioration retenue pour cette espèce est essentiellement la même que pour le chêne rouge. Par contre, le fait que le frêne d'Amérique soit dioïque et peu fructifère en forêt nous oblige à sélectionner un grand nombre d'arbres ou à attendre longtemps avant d'établir des tests de descendances. Les arbres mâles doivent aussi être évalués dans des tests clonaux ou par croisements, et l'établissement de vergers à graines doit prendre en considération la proportion d'arbres mâles et femelles.

2. Historique des travaux et résultats

Deux tests de descendances et un test de provenances de frêne d'Amérique ont été installés à La Patrie (1976), au Platon (1977) et à Saint-Hugues (1983). Ils comprennent respectivement 38 provenances de l'Ontario, et 210 et 179 descendances, principalement de l'Ontario. Des mesures ont été prises dans ces tests à des âges variant de 10 à 20 ans, mais des problèmes de broutage au départ, des sols pauvres et non-homogènes ou des dégâts par le verglas ont causé des variations environnementales qui masquent les variations génétiques.

Quatorze tests de provenances de frêne de Pennsylvanie ont été installés entre 1972 et 1976 dans toutes les régions du Québec ; ils comprennent tous seuls trois provenances du Québec. De ce nombre, seulement 3 tests sont toujours considérés comme valables, soit ceux de Coulonge, Duchesnay et Matapédia. Quatre tests de provenances de frêne de Pennsylvanie ont aussi été installés en 1987 ; ce sont ceux situés à Lotbinière, à La Patrie, à Rigaud et aux Iles-de-la-Madeleine. Ils contiennent respectivement 147, 133, 114 et 24 provenances, majoritairement de l'Ontario (avec quelques provenances du Québec). Mis à part le test des Iles-de-la-Madeleine, qui souffre régulièrement de gel, les trois autres ont été mesurés à l'automne de 1996, mais leur croissance est très faible, principalement en raison d'un mauvais choix de site de plantation.

En 1990 et 1991, 16 arbres-plus ont été sélectionnés, principalement dans la région de Montréal. Un verger à graines a été établi en 1994, dans lequel la proportion male : femelle est de 1,3 : 1.

La récolte de graines dans le but d'établir des tests de provenances-descendances n'a pu débuter qu'en 1998 en raison de la faible fructification au cours des années antérieures ; 65 arbres représentant quatre régions du Québec sont représentés dans cette récolte. Contre toute attente, l'année 1999 semble être une autre bonne année de fructification pour le frêne d'Amérique ; nous pourrons alors compléter la récolte en vue de l'établissement des tests de provenances-descendances.

Bouleaux

1. Caractéristiques de l'espèce et stratégie d'amélioration

Le bouleau jaune est une espèce exclusivement nord-américaine. Malgré sa grande distribution, environ 50% du volume sur pied de l'espèce pousse au Québec (Erdmann 1990). La régénération naturelle est abondante. La plantation du bouleau jaune en milieu ouvert est par contre très problématique ; les semis ont une croissance anarchique, sans dominance apicale, qui leur confère une forme buissonnante.

Le bouleau à papier est présent sur un territoire beaucoup plus vaste qui englobe celui du bouleau jaune. Au Québec, il est présent en proportions très variables dans tous les domaines bioclimatiques. Les peuplements naturels de bouleau à papier sont constitués de semis, mais aussi de rejets de souche, qui abondent à la suite d'un feu ou d'une coupe. Ces derniers sont toutefois rarement suffisants pour produire des peuplements d'avenir ; même si leur croissance est supérieure à celle des semis, ils sont de moins bonne qualité (Safford et al 1990). Finalement, l'espèce a une croissance juvénile rapide et une très belle forme en milieu ouvert.

Jusqu'en 1996, le bouleau jaune était considéré comme prioritaire dans le programme d'amélioration génétique. Clausen (1973) a démontré que la sélection d'arbres-plus pour la croissance était inefficace chez cette espèce. Par contre, aucune étude ne nous permet d'évaluer l'effet de la sélection sur la qualité des arbres. La stratégie retenue consistait d'abord à sélectionner des arbres-plus selon des critères de qualité, dont le principal était une forte dominance apicale en pleine lumière. Ces arbres étaient alors reproduits par greffage dans le but d'établir des vergers à graines. Les graines récoltées sur ces arbres-plus devaient servir au testage. La deuxième stratégie, à laquelle étaient affectées la majorité de nos ressources, consistait à réaliser des croisements dirigés interspécifiques (bouleau jaune X bouleau à papier), dans le but de produire une variété hybride ayant une forte dominance apicale en milieu ouvert, et une croissance accrue. En effet, des hybrides naturels de bouleaux jaune et de bouleaux à papier avaient été identifiés antérieurement (Clausen 1979; Barnes *et al* 1974) et Clausen (1979) avait démontré que ces hybrides croissent en moyenne plus rapidement en hauteur (27%) et en diamètre (92%) que le bouleau jaune après avoir été plantés dans des champ abandonnés.

2. Historique des travaux et résultats

À partir de 1990-1991, les principaux efforts d'amélioration des bouleaux ont porté sur la réalisation de croisements dirigés entre le bouleau jaune et le bouleau à papier. Environ 200 arbres-plus de bouleau jaune ont été sélectionnés dans huit régions administratives du Québec, et une vingtaine de bouleaux à papier ; ces arbres ont été greffés à partir de 1992. Un rapport sommaire des méthodes de greffage employées et des résultats a été produit. Ces greffes ont été plantées en mini-vergers en 1995 à la pépinière de Duchesnay et à la forêt de Drummondville (Hydro-Québec) pour la production de graines.

Cent trente-huit lots de graines provenant de croisements dirigés réalisés en 1990 chez le genre Betula ont été mis à germer; 56 lots ont germé. À l'Université Laval, des analyses à l'aide de marqueurs biochimiques et moléculaires ont été réalisées (équipe de Jean Bousquet) pour vérifier la nature hybride des plants obtenus.

Cent soixante-dix croisements inter et intraspécifiques ont été réalisés en 1991 entre le bouleau jaune, le bouleau à papier et le bouleau verruqueux; 36 lots ont été obtenus. En 1993 et 1994 respectivement, 200 et 187 croisements ont été réalisés. Passées aux rayons X, on s'aperçoit que très peu de graines hybrides sont pleines. De plus, lorsqu'on sème les graines pleines, le taux de germination est extrêmement faible, semblant indiquer qu'il y a arrêt dans le processus de maturation de la semence.

Les quelques plants issus des croisements dirigés inter et intraspécifiques ont été cultivés pendant deux ans à la pépinière de Duchesnay, puis ont été plantés en 1994 à Saint-Germain-de-Grantham. Ce test comprend 1 475 arbres représentant 27 descendances, 5 provenances et 22 clones d'arbres-plus. Ces tests seront mesurés en 1999.

Un essai de croisements dirigés interspécifiques utilisant une technique très spécialisée appelée pollen mentor (proportion 50 : 50 de pollen vivant : pollen mort mentor) a été réalisé en 1995 par l'équipe de M. Stéphan Mercier. Quelques plants ont été produits mais leur nature hybride reste incertaine. En 1995 toujours, la majorité des croisements réalisés ont mis l'accent sur les hybrides intraspécifiques interprovenances en raison du peu de succès obtenu avec les croisements interspécifiques dans les années.

Au printemps de 1996, deux tests de provenances-descendances de bouleau jaune ont été plantés à La Tuque en milieu forestier. Ces tests sont constitués de semis issus de graines récoltées sur des arbres sélectionnés, ainsi que sur des arbres-témoins. En plus de vérifier la supériorité génétique des arbres sélectionnés, ces tests serviront à évaluer le comportement de l'espèce (qualité des tiges et croissance) plantée en milieu forestier.

Toujours en 1996, quatre vergers à graines de bouleau jaune ont été plantés en collaboration avec la Direction de la production de semences et plants (DPSP) de Forêt Québec. Ils sont situés dans quatre régions administratives, soit à Saint-Nicolas (R 03), Sherbrooke (R 05), Saint-Ours (R 06) et Buckingham (R07). Ils sont constitués de greffes d'arbres-plus et serviront à répondre aux besoins du programme de reboisement et du programme d'amélioration génétique. Le verger de Saint-Nicolas a la particularité de constituer une plantation multifonctionnelle et multispécifique qui

servira aussi de site de démonstration des possibilités de reboisement dans des conditions différentes de celles préconisées jusqu'à présent par le MRN.

Noyer noir

Le noyer noir est une espèce de grande valeur, qui n'est pas indigène au Québec. Il peut toutefois enrichir et diversifier notre patrimoine. L'approvisionnement en graines de qualité, adaptées au climat, est l'objectif visé par la stratégie d'amélioration, dont les origines remontent à 1882.

En effet en 1882, sans le savoir, Henri-Gustave Joly de Lotbinière jetait les bases d'un des premiers tests de provenances au Québec ; il plantait alors 10 000 noyers noirs à la Pointe au Platon, près de Québec. Les graines venaient du Wisconsin, du sud de l'Ontario (deux provenances) et de populations déjà introduites dans la région de Montréal. L'aire naturelle de distribution du noyer noir se termine à la latitude 43° N, soit au sud de l'Ontario et dans les États des Grands-Lacs aux Etats-Unis. Le déplacement de provenances d'environ 4° de latitude réalisé par le seigneur Joly de Lotbinière représente un passage d'une température minimum moyenne de janvier de – 6,7°C dans son aire naturelle à –15,6°C dans la région de Québec. En conséquence, 80 % des semis sont morts au cours des cinq premières années en raison du froid trop intense. En 1971, alors que la plantation était âgée d'environ 90 ans, le professeur Louis Parrot de la Faculté de foresterie de l'Université Laval a entrepris une étude pour évaluer la résistance au froid, la croissance et la reproduction des arbres survivants. La plupart de ceux-ci avaient des dommages causés par le froid (présence de larges fentes sur le tronc). Leurs graines, issues de la pollinisation libre, avaient une faible viabilité. Au contraire, les arbres qui avaient un tronc normal (sans gélivure, donc résistants au froid) produisaient des graines modérément viables. Cette première étude venait donc faire la démonstration que non seulement des noyers noirs pouvaient survivre au climat rigoureux de la région de Québec, mais qu'ils avaient la capacité de s'y reproduire (Li et al, 1992).

En 1967, le Dr Parrot sélectionnait cinq arbres résistant au froid dans la plantation originale et réalisait des croisements dirigés afin de faire la lumière sur la croissance et l'adaptation de descendants provenant de ces arbres (Li et al, 1992); un total de 636 noix fut obtenu, ayant un taux de germination de 90 %. Les semis d'un an furent plantés en 1969. Le taux de survie des arbres était de 86% à l'âge de 11 ans et de 80 % à l'âge de 21 ans. Aucun des arbres vivants n'avait de symptômes de dégât par le froid. On peut donc conclure que les descendances issues de croisements entre arbres sélectionnés pour leur résistance au froid font preuve d'une bonne adaptation.

La hauteur moyenne de ces familles à 11 ans (3,1m) et à 21 ans (8,7m) est comparable à celle des arbres du même âge dans leur aire naturelle de distribution aux États-Unis (Kellogg 1939, Fowells 1965).

Puisque le noyer noir n'est pas beaucoup utilisé pour les reboisements au Québec, la stratégie d'amélioration génétique en est très limitée et vise essentiellement à rendre disponible le matériel résistant au froid. Elle est orientée vers l'établissement de vergers à graines clonaux composés de greffes d'arbres sélectionnés. Ainsi, en 1996, deux vergers à graines furent établis par la DPSP (Saint-Ours et Buckingham) ; ils sont composés d'arbres sélectionnés dans la jeune plantation de Pointe au Platon, ainsi que d'autres sélections réalisées ailleurs au Québec afin d'élargir la base génétique et d'éviter la consanguinité. Les descendances de ces arbres sont évaluées dans deux tests de provenances-descendances établis en 1997 à Saint-Ours et à Sainte-Agnès de Dundee; on pourra ainsi vérifier le bien-fondé de cette stratégie.

Érable à sucre

L'érable à sucre est la seconde espèce en importance pour le reboisement; on la plante principalement sur des parcelles de terre agricole adjacentes à des érablières, pour agrandir et consolider ces dernières. Elle est une espèce grandement appréciée au Québec, à la fois pour la production de bois et la production de sirop et de ses dérivés. Même si la variation entre provenances ne suit pas de patron particulier, autant en ce qui concerne la croissance (Li *et al* 1992) que les taux de sucre (Kriebel et Gabriel 1969), le taux de sucre varie beaucoup entre les familles (Wilkinson 1985).

La stratégie d'amélioration qui a été retenue est plutôt innovatrice ; elle est basée sur l'utilisation de marqueurs génétiques. Ainsi, en 1994, dans

une plantation âgée de 65 ans située à Saint-Joseph-de-Beauce, on a mesuré à trois reprises le taux de sucre de 700 arbres pour chacune des deux années de production. Parmi ces arbres, on a retenu les 10 moins sucrés et les 10 plus sucrés, pour lesquels plus de 1000 empreintes d'ADN ont été obtenues. On a finalement réussi à identifier des marqueurs génétiques, qu'on a ensuite validé par un échantillonnage dans une seconde plantation des Bois-Francs. Les érables affichant ces marqueurs ont, en moyenne, une teneur en sucre de la sève significativement plus élevée ; l'utilisation en tandem de ces marqueurs permet d'obtenir des gains de près de 20 % (Bousquet et Larochelle 1998). Les retombées économiques sont appréciables; pour une érablière de 10 000 entailles, un gain de 10% pour le taux de sucre représente un bénéfice annuel net de $ 2 652 (Roy *et al.* 1997).

L'analyse de la variation temporelle de la teneur en sucre a aussi révélé que la variation interannuelle est plus importante que la variation interjournalière au cours d'une même année, et que la variation interjournalière était non-significative (Bousquet et Larochelle 1998). Il n'y a pas de relation entre le taux de sucre et le diamètre, et le classement relatif des arbres se maintient d'une année à l'autre, et entre les journées à l'intérieur d'une même année (Larochelle *et al.* 1998).

En 1994, alors que débutait l'identification des marqueurs, la DRF procédait à l'installation de deux tests de provenances ; un à Tingwick dans les Bois-Francs et un autre à Saint-Ephrem-Station en Beauce. On y retrouve 15 provenances de toute l'aire de distribution au Québec. Une fois les marqueurs identifiés dans la phase 1 du projet, l'objectif de départ était d'identifier les jeunes arbres les plus sucrés pour ensuite confirmer leur supériorité à l'aide des marqueurs, et explorer la possibilité de sélectionner le meilleur matériel en bas âge, ouvrant ainsi la voie au bouturage. Ce travail devrait être réalisé dans les prochaines années, en collaboration avec Agriculture et Agroalimentaire Canada, le Centre Acer et la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval.

Noyer cendré

Le noyer cendré est ciblé en raison de sa grande susceptibilité au chancre du noyer (*Sirococcus clavigignenti juglandacearum*) qui a éliminé l'espèce dans deux états américains. Les objectifs sont donc la conservation du patrimoine génétique et l'amélioration des connaissances sur la maladie.

Le travail a débuté à l'automne de 1994. Le personnel des régions administratives a alors procédé à la récolte de noix ; 62 descendances de 12 provenances du Québec et deux de l'Ontario y étaient représentées. L'objectif visé était d'établir des plantations de conservation de l'espèce, en raison de la virulence du chancre du noyer (*Sirococcus clavigignenti juglandacearum*) dans son aire de distribution. Les plants, produits à la pépinière de Berthierville en 1995, ont donc été inspectés un par un avant leur emballage pour éliminer ceux présentant des symptômes. En 1996, quatre plantations conservatoires ont été établies au Québec, dont trois sont situées hors de l'aire de distribution de l'espèce. Des relevés de mortalité et des inspections phytosanitaires ont été réalisés chaque année par le personnel de la Direction de la conservation des forêts (DCF).

L'inspection phytosanitaire en pépinière a permis d'éliminer plusieurs plants présentant des symptômes de la maladie. Les lésions étaient toujours localisées au niveau du collet. La mise en culture en laboratoire a permis de confirmer la présence de *Sirococcus clavigignenti juglandacearum*. La présence simultanée de ces lésions et du champignon pathogène a mis en lumière le fait que la maladie pouvait être transmise par les noix, directement dans la pépinière. Pour vérifier cette hypothèse, des noix de plusieurs provenances furent récoltées en peuplements naturels en 1996. Selon la provenance, de 6 à 63 % de celles-ci avaient des fructifications ou des spores de *Sirococcus* à la surface ou dans le brou. En 1996, l'agent pathogène a aussi été isolé sur 4 % des plants dans les quatre dispositifs établis. Puisqu'aucun noyer cendré naturel n'était présent autour de trois des quatre dispositifs, on conclut donc que l'agent pathogène était déjà présent sur les plants en pépinière, et que l'inspection est inefficace.

En 1997, malgré qu'on ait éliminé les plants infectés l'année précédente, il restait encore 3,1 % des plants atteints. Alors que le taux d'infection avait diminué pour trois des quatre dispositifs, il avait augmenté à plus de 7 % à Petit-Saguenay ; les conditions rigoureuses de croissance à cet endroit peuvent avoir affaibli les arbres. De plus, la présence de Fusarium a été confirmée (53,4 %

des échantillons). La présence simultanée des deux maladies n'a toutefois été observée que dans 2,3 % des échantillons mis en culture.

Y a-t-il des régions de provenances plus contaminées où on ne devrait pas récolter de semences ? Les analyses statistiques ne dénotent pas de différence significative, même si la Montérégie a toujours le plus bas taux d'infection (0,42 % en 1996, et 0,34 % en 1997) et l'Estrie, le plus haut. À chaque année, à l'exception d'un cas à un endroit, la provenance Westbury est toujours la plus touchée ; elle est toutefois suivie de près par deux autres, soit Pansy Patch Park et Eaton. La variation entre les descendances est significative dans quelques cas seulement.

Volet sylviculture des plantations feuillues

Dans le volet relatif au développement des connaissances sur la sylviculture des plantations, 6 dispositifs ont été mis en place, soit : 1) en 1996, deux tests de descendances en milieu forestier (La Tuque), issus de semences récoltées sur des arbres-plus de bouleau jaune, où la végétation concurrente est laissée en place pour accompagner le développement des bouleaux ; une évaluation du niveau de compétition est faite, et confrontée à la croissance et la forme des arbres, 2) en 1997, une plantation dans des bandes préparées à la débroussailleuse dans un vieille friche arbustive âgée de 30 ans située à La Patrie, 3) en 1996, trois dispositifs d'accompagnement en milieu agricole ouvert situé à Saint-Nicolas en banlieue de Québec et 4) de 1994 à 1998, deux dispositifs d'érable à sucre en Beauce et dans les Bois-Francs, pour évaluer des méthodes alternatives aux produits chimiques afin de réduire les dommages causés par les populations de campagnol. Ces dispositifs sont suivis par des équipes communes sylviculture-génétique à la DRF, et continueront à faire partie intégrante de la portion opérationnelle du programme d'amélioration génétique.

Résultats généraux obtenus

La création du programme d'amélioration génétique des espèces feuillues en 1989 a permis de faire ressortir l'importance de récolter des graines sur des arbres de qualité. D'ailleurs, un « Guide de sélection d'arbres-plus » a été publié ; la DPSP ainsi que le personnel des régions administratives ont ainsi localisé des arbres sur lesquels se fait maintenant la récolte de semences feuillues.

De 1989 à 1991, plusieurs essais ont été réalisés au Centre de greffage de Duchesnay pour développer la méthode de greffage la plus appropriée à chacune des six espèces retenues. Le taux de succès est fortement relié à la méthode utilisée. Celu :i varie de 50 à 80% la première année; puisque l'hivernage des greffes entraîne des pertes supplémentaires au cours des années suivantes, on a essayé diverses techniques au fil des ans.

Perspectives d'avenir

L'avenir du programme d'amélioration génétique des espèces feuillues au Québec est intimement lié à l'évolution des connaissances sur la sylviculture des plantations de feuillus. En effet, à quoi servirait de développer des variétés améliorées s'il n'y a pas de rentabilité possible ? En même temps, le fait de disposer de variétés améliorées pour la qualité et la croissance permet au propriétaire de mettre en terre un faible nombre de plants à l'hectare, et de bien cibler ses investissements! Un lien indissociable existe entre la recherche sur la génétique et la sylviculture des plantations. Steiner (1996) mentionne justement que de façon historique, les praticiens n'ont pas utilisé le matériel amélioré développé par les sélectionneurs, à moins que la demande n'ait été exprimée clairement au départ. Il y a, dans tout programme d'amélioration génétique, une partie opérationnelle qui doit être en lien étroit avec la sylviculture des plantations, ce qui est crucial pour assurer le succès du programme (Zobel et Talbert 1984). L'enrichissement de peuplements dégradés, l'utilisation de vieilles friches, le cloisonnement cultural, les plantations avec accompagnement en milieu agricole ouvert, etc. sont autant d'avenues à développer pour restaurer la ressource feuillue dans la partie sud du Québec.

Le programme d'amélioration génétique a englobé beaucoup d'espèces au départ. À l'avenir, il faudra en cibler quelques-unes si on veut obtenir des résultats plus marqués, d'autant plus qu'il y a moins de ressources affectées au programme. Pour le chêne rouge, nous avons en main une base solide qui nous permettra de bien définir les limites de déplacement et de recommander du matériel supérieur. Dans un avenir rapproché, on

doit accorder la priorité à d'autres espèces, notamment le bouleau à papier et l'érable à sucre.

L'amélioration du bouleau jaune par croisements dirigés interspécifiques a été arrêtée en 1996 vu les piètres résultats obtenus; le bouleau à papier doit être considéré comme prioritaire dans l'avenir puisqu'il a une très forte croissance, une grande amplitude écologique et une forte valeur économique; la sélection pour la croissance en hauteur pourra se faire en parallèle à la sélection pour la forme. L'établissement de tests de descendances à partir de semences récoltées sur des arbres sélectionnés nous permettra d'identifier le meilleur matériel, et de réaliser ensuite des croisements dirigés de masse.

Puisqu'en 1998 et 1999, nous avons pu récolter des semences de frêne d'Amérique, que l'espèce est très intéressante pour sa vigueur de croissance et que le gain de provenances de l'espèce est appréciable, nous établirons des tests de provenances-descendances. Par contre, il est bien connu que l'espèce a une production de semences très erratique, ce qui la rend difficile à reproduire; le bouturage n'est pas une solution envisageable, comme pour toutes les espèces feuillues. Alors que seront en marche les tests visant à identifier du bon matériel dans les prochaines années, il serait essentiel d'étudier sérieusement les facteurs qui affectent la production de graines.

Pour le noyer noir, nous avons actuellement en place suffisamment de matériel résistant pour assurer l'approvisionnement en noix; des efforts supplémentaires seraient superflus.

L'érable à sucre et ses divers produits (bois, sirop) connaissent une popularité grandissante; l'identification de marqueurs d'ADN liés au taux de sucre constitue une percée majeure qui pourrait être bénéfique à toute l'industrie. L'identification de marqueurs supplémentaires serait sûrement rentable, et la possibilité de bouturer de jeunes arbres est présentement à l'étude au MRN; les résultats obtenus sont prometteurs.

Remerciements

À John Mackay (DRF-Forêt Québec) qui a été responsable du projet de 1989 à 1992. Au personnel de l'équipe d'amélioration génétique des arbres de la Direction de la recherche forestière (Forêt Québec), et principalement à Pierre Lortie pour son dévouement, sa débrouillardise et son sens de l'observation qui m'ont été précieux. À Denis Robitaille, avec qui j'ai eu plusieurs échanges et collaborations pour développer la sylviculture des plantations de feuillus. Au personnel de la Division des semences de la Direction de la production des semences et des plants (Forêt Québec). Au personnel des régions administratives et des unités de gestion de Forêt Québec, qui ont toujours collaboré avec beaucoup d'enthousiasme. Au personnel de la Direction de la conservation des forêts, qui a toujours collaboré avec empressement à l'évolution des connaissances sur les maladies et les insectes des feuillus dans les dispositifs de la DRF.

Références citées

Barnes, B.V., D.P. Dancik et T.L.Sharik, 1974. Natural hybridization of yellow birch and paper birch. For.Sci.20 : 215-221

Bousquet, J. et F. Larochelle, 1998. Génétique et amélioration de l'érable à sucre. MRN, rapport de recherche remis à la DRF.

Caron, C., 1994. Revalorisation des terres en friche. Dans Colloque sur les pratiques de végétalisation : l'arbre en ville et à la campagne. Montréal. Édit. Camille Desmarais, p 37-42

Clausen, K.E., 1973. Genetics of yellow birch. USDA. Forest Service Research Paper W-O-18. Washington DC. 28p

Clausen, K.E., 1979.The yellow X paper birch hybrid : a potential substitute for yellow birch on problem sites. Dans Proceedings : 13TH Lake States Forest Tree Improvement Station. USDA Forest Service, North Central Forest Experimental Station, General Technical Report NC-26. P166-171

C.P.V.Q., 1990. Les brise-vent : le choix des espèces d'arbres et d'arbustes. Gouv. Qué., Min. de l'Agric., 26p

Déry, G., 1989. Les forêts feuillues de qualité au Québec : une intervention urgente s'impose ! Mémoire de l'Association des manufacturiers de meubles du Québec, 30 p.

Dumont, M., 1995. Plantation des feuillus nobles. Ministère des Ressources naturelles, Québec. 126p

Erdmann, G.G., 1990. *Betula alleghaniensis.* Dans Silvics of North America, Vol 2. Hardwoods. USDA, For.Serv.Agric. Handb.654 . p 133-147

Fowells, H.A.,1965. Silvics of forest trees of the United States. USDA Handb. 271
IQAFF, 1998. Le bouleau à papier. Revue de littérature. Les éditions à Mains nues. 95 p

Karki, L., 1983. The Foundation for Forest Tree Breeding in Finland, Information Bulletin 1/1983.
Kellogg, L.F. 1939. Site index curves for plantation black walnut. USDA For.Serv.Cent.States For.Exp.Stn. Note 35

Kriebel, H.B. et W.J. Gabriel, 1969. USDA Forest Service Research Paper W-O7, 17p

Larochelle, F., E.Forget, A.Rainville et J.Bousquet, 1998. Sources of temporal variation in sap sugar content in a mature sugar maple (*Acer saccharum*) plantation. For. Ecol. and Manag. 106 : 307-313

Li, P., J.Mackay et J.Bousquet, 1992. Genetic diversity in Canadian hardwoods : Implication for conservation. For.Chron. 68 (6) : 709-719
Majcen, Z., 1995. MRN. Responsable de la sylviculture des peuplements feuillus naturels .

MFO, 1992. Performace des plantations feuillues établies dans les forêts publiques de 1985 à 1990. Service des techniques d'intervention forestière. Documents distribués à la rencontre provinciale, 15 décembre 1992.

Robitaille et Dumont 1993 (FRA)

Roy, A., E. Forget, N.Isabel, A.Rainville et J .Bousquet, 1997. Un nouvel outil de sélection pour l'érable à sucre. Affiche présentée au Carrefour de la recherche de 1997.

Safford, L.O., J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada, 1990. Betula Papyrifera Marsh. Dans Silvics of North America. Vol 2. Hardwoods. USDA Forest Service, Washington. p 158-171

Sander, I.L., 1990. Quercus rubra L.. Dans Silvics of North America. Vol 2. Hardwoods. USDA Forest Service, Washington. p 727-733

Steiner, K.C., 1993. Genetic improvement of oaks in North America. Ann.Sci.For.50, suppl 1 : 359-367

Thibault 1989. Végétation et facteurs du milieu dans les régions écologiques du Québec méridional (1e partie). MER.Serv. Rech.appl.260p

Truax, B., 1995. Restauration écologique des forêts feuillues par plantation. Dans Bilan de la santé des forêts du Québec. Potvin, C. et Cantin, D. (éds) 15p

Von Althen, F.W., 1977. Hardwood planting in Ontario. For. Chron. 53 : 209-214

Wilkinson, R.C., 1985. Year-to-year variation in sap-sugar concentrationof sugar maple progenies and its potential effects of genetic selection for high sap sugar. Proceeding 29th NE For. Tree Impr.Conf. Morgantown, Wv : 120-133

Zobel, B.J. et J.T. Talbert, 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley ans Sons, New-York, 505 p.

Tableau 1. Nombre de plantations et composition des dispositifs expérimentaux et des verges à graines d'espèces feuillues au Québec

Espèce	Nombre de tests de			Par test, nombre de		Nombre de	
	Provenances	Descendances	Prov.-Desc.	Provenances	Descendances	Vergers	Clones
Acer saccharum (*A. saccharinum*)	2			15 (3)			
Betula alleghaniensis (*Betula sp.*)		3			54, 75 et 83	5	4 x 36 et 40
Betula papyrifera						2	9 et 15
Fraxinus americana	-	2	-	-	179-210	1	16
Fraxinus pennsylvanica	7	-	-	3 à 147	-		
Juglans cinerea		4			50 à 60		
Juglans nigra	-	3	-	-	5 à 48	3	24
Quercus rubra	3	-	5	1 à 34	33 à 109	2	
Autres	2	-	-	10 à 20	-		
TOTAL	12	3	7	----	----		

LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE : BILAN DES RÉALISATIONS

LES PEUPLIERS

Monsieur Pierre Périnet, ing.f., M.Sc.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

L'amélioration génétique du peuplier au Québec : 30 ans plus tard

Résumé

Ce bilan fait état des résultats obtenus après 30 ans de travaux en amélioration génétique du peuplier. On y présente les caractéristiques des peupliers hybrides, leurs exigences culturales et leur potentiel pour augmenter la productivité forestière. Les étapes de l'amélioration et les modes de reproduction sont brièvement décrits et les résultats obtenus sont présentés (clones recommandés, populations d'amélioration, qualité du bois). On y donne également un aperçu des coûts des plantations (préparation de terrain, établissement et entretien). Des données illustrent la productivité de deux plantations de peuplier hybride dans le Bas-Saint-Laurent. Finalement, les perspectives d'avenir y sont discutées.

Introduction

Le programme d'amélioration génétique du peuplier a débuté au Québec en 1969, il y a maintenant 30 ans. Au début, le projet porte sur l'introduction d'espèces et d'hybrides obtenus de l'étranger ainsi que la sélection locale d'arbres ou d'hybrides naturels comme *Populus* x *jackii*. Puis, les premiers programmes d'hybridation ont rapidement produit du matériel amélioré plus performant et surtout mieux adapté aux conditions locales. À une époque où le peuplier n'est pas encore utilisé par l'industrie, le projet se développe et couvre de multiples aspects de la populiculture. Maintenant valorisée, cette essence représente une nouvelle source d'approvisionnement pour l'industrie qui utilise le tremble. Le programme a produit des populations d'amélioration chez plusieurs espèces parentales comme *P. nigra*, *P. maximowiczii*, *P. trichocarpa* et *P. deltoides*, ainsi qu'un nombre élevé de clones de peuplier hybride recommandés pour plusieurs régions écologiques du Québec.

Pourquoi cultiver du peuplier

Le peuplier est un arbre de grande dimension, qui pousse rapidement et qui produit beaucoup de matière ligneuse (jusqu'à 2 m^3 par arbre). De son côté, le tremble est une ressource naturelle maintenant utilisée par l'industrie prospère du panneau gaufré (plus de 2 M m^3 en provenance de la forêt publique attribués aux bénéficiaires de CAAF en 1998, représentant 67 % des 3,1 M m^3 attribués et, en 1995, une valeur de 318 M $ d'exportations) et aussi pour le déroulage, le bois d'œuvre et la pâte (représentant respectivement 3,6 %, 19,3 % et 10,3 % des 3,1 M m^3) (Périnet *et al.*, 1998). En 1995, le total de la possibilité annuelle en forêt publique et du prélèvement admissible en forêt privée correspondait à un peu moins de 6 M m^3 de peuplier.

Renouveler cette ressource est possible mais l'âge des rotations dans les tremblaies naturelles est de deux à trois fois supérieur à celui des plantations de peuplier hybride. Dans le contexte du rendement accru des forêts, la culture du peuplier hybride cadre bien avec l'idée du zonage du territoire forestier. Les essences à croissance rapide comme le peuplier et le mélèze peuvent contribuer à l'augmentation de la productivité forestière sur des superficies restreintes mais cultivées de façon intensive. En France, 250 000 ha de peupleraie, représentant 1,5 % du territoire forestier, fournissent approximativement 2,5 M m^3 annuellement; le peuplier se situant depuis 1990 au 1er rang des essences feuillues en terme de volume récolté, devançant les chênes (Barthot, C. 1999).

De plus, la populiculture devrait être complémentaire à l'agriculture et non pas comme une activité concurrentielle aux autres productions végétales. La forêt habitée offre toutes les conditions requises pour en assurer le développement : proximité de la main d'œuvre, savoir-faire, sites propices, équipements et infrastructures, proximité des usines, etc. Le défi est d'intégrer cette culture au cadre législatif en forêt privée pour en faire un outil de développement régional.

Caractéristiques de l'essence

Les espèces de peuplier sont regroupées dans six sections botaniques distinctes dont celles des peupliers noirs (*Aigeiros*), des baumiers (*Tacamahaca*) et des trembles (*Leuce* ou *Populus*) sont les plus importantes. Les principales espèces qui nous intéressent, surtout pour des fins d'hybridation, sont mentionnées au tableau 1.

Qu'entend-on par «peuplier hybride» ? C'est tout un groupe d'hybrides entre des espèces appartenant à une même section ou à des sections différentes. Les plus connus sont les hybrides euraméricains, obtenus en pollinisant le peuplier deltoïde avec le peuplier noir d'Europe (*P. deltoide* x *P. nigra*), et les interaméricains comme l'hybride *P. deltoide* x *P. trichocarpa*. On trouve également des hybrides naturels comme le *P.* x *jackii*, où les espèces parentales (*P. deltoide* et *P. balsamifera)* ont des aires de distributions sympatriques ou communes. De façon générale, les hybrides ont une croissance supérieure aux espèces parentales (vigueur hybride), manifestée souvent par une croissance en diamètre plus forte (Stettler *et al.* 1996).

Dans les stratégies d'amélioration génétique, l'hybridation intraspécifique, obtenue en croisant les meilleurs sujets à l'intérieur d'une espèce, produit des arbres qui serviront de géniteurs dans les programmes d'hybridation entre deux espèces améliorées.

Une des caractéristiques du programme québécois d'amélioration du peuplier est la prédominance du peuplier baumier japonais (*P. maximowiczii)* dans les clones hybrides sélectionnés. Cette espèce est particulièrement bien adaptée à nos conditions climatiques boréales et se développe bien sur les sols forestiers plus acides que ceux habituellement utilisés en populiculture (alluvions fertiles des plaines agricoles). On retrouve les mêmes caractéristiques chez plusieurs hybrides de cette espèce. Les hybrides les plus courants du *P. maximowiczii* sont avec le peuplier baumier, le peuplier deltoïde et le peuplier noir. Le *P. maximowiczii* est susceptible au chancre septorien, maladie importante dans le sud du Québec. Certains hybrides très prometteurs sont des hybrides multiples du *P. maximowiczii* avec le peuplier euraméricain, *(P. deltoide x P. nigra)* X *P. maximowiczii,* ou avec le *P. xrollandii* : *P. maximowiczii* X [(*P. deltoide x P. nigra) x P. balsamifera*].

Domestiqué depuis longtemps, le peuplier est facile à hybrider et se prête particulièrement bien à la multiplication par bouturage, ce qui en fait l'essence forestière idéale pour l'amélioration génétique, la foresterie clonale, la génétique moléculaire et la biotechnologie. Ainsi, par ses caractéristiques et ses modes de culture, le peuplier s'apparente davantage au monde agricole qu'au secteur forestier.

Sélection et évaluation des clones

Voici les étapes habituelles de la sélection : des semis, obtenus par croisements dirigés dans nos programmes d'hybridation, servent à établir des tests de descendances dans lesquels sont sélectionnés des individus supérieurs. Puis, les arbres prometteurs, multipliés par bouturage, subissent une 1re évaluation dans des tests clonaux précoces (maximum cinq ans). Par la suite, les clones les plus performants sont regroupés dans des tests clonaux établis sur plusieurs sites pour leur évaluation finale à long terme dans différentes régions écologiques. Une 1re sélection peut être faite à l'âge de cinq ans mais les résultats définitifs ne seront connus qu'à l'âge de 10 ou 15 ans. Après cinq ans, les meilleurs clones peuvent aussi être testés dans d'autres régions aux conditions écologiques similaires.

Plusieurs partenaires et collaborateurs en région participent maintenant à la réalisation des tests clonaux : les industriels, les organismes de gestion en commun et les coopératives forestières, les agences de mise en valeur de la forêt privée, les syndicats et offices de producteurs de bois ainsi que les bureaux régionaux et les unités de gestion de Forêt Québec.

Reproduction

Chez le peuplier, les quartiers de pieds-mères représentent l'équivalent des vergers à graines des conifères permettant la multiplication du matériel amélioré. Les pieds-mères sont cultivés en pépinière pendant sept à dix ans avec rabattage annuel au sol. Les pousses annuelles sont récoltées à la fin de l'automne et servent à la production des boutures repiquées le printemps suivant en pépinière pour la production de plants.

En plus des quartiers de pieds-mères opérationnels des pépinières provinciales, nous cultivons plusieurs autres quartiers expérimentaux à l'arboretum de Lotbinière. Ceux-ci servent à la fois à produire les nouveaux clones à évaluer en tests clonaux et à maintenir des collections ou des archives pour conserver le matériel amélioré. La conservation des gènes est importante pour pouvoir ajuster les programmes d'amélioration aux aléas du futur.

Maladies et ravageurs

Les peupliers sont sensibles à plusieurs maladies, insectes et ravageurs comme les mulots et les cervidés. Parmi les maladies, les plus importantes sont le chancre septorien (*Septoria musiva*) et les maladies foliaires causées par les rouilles (*Melampsora* spp.) et le *Marssonina brunnea* (Mottet et Lamontagne, 1999 ; Mottet *et al.* 1991). L'insolation hivernale, un problème abiotique courant, affecte un nombre élevé d'arbres dans les tests clonaux et cause des dommages importants à la base des troncs qui nous obligent à rejeter des clones autrement très prometteurs. La résistance aux principales maladies est un caractère important pour la sélection des clones. Dans le sud du Québec, les clones recommandés doivent être résistants au chancre septorien. Pour assurer une résistance à long terme, les stratégies de déploiement des variétés améliorées doivent prendre en considération des notions épidémiologiques pour éviter l'apparition de nouvelles souches plus virulentes. Pour ce faire, les résistances ne doivent pas être totales et les variétés utilisées pour une région donnée doivent être constituées de plusieurs clones non apparentés et représentant différents types d'hybrides. Dans certains cas, on devra même accepter des baisses de rendement en utilisant des clones moins résistants.

Exigences culturales

Les peupliers requièrent des sols frais, profonds, fertiles, bien drainés et de texture moyenne (des loams) avec un pH entre 5,0 et 7,0 (OMNR, 1991). Des différences existent entre les types d'hybrides, quant à ces exigences, et aussi entre les individus sélectionnés. Ainsi, les peupliers euraméricains sont généralement plus exigeants pour la fertilité du site et les hybrides de *P. maximowiczii* sont mieux adaptés aux sols forestiers. Les données du tableau 2 illustrent ces différences où les hybrides de *P. maximowiczii* performent mieux à l'arboretum de Lotbinière que les deux clones euraméricains (DxN), mieux adaptés au site de Saint-Ours.

La préparation de terrain est une étape cruciale et déterminante sur l'établissement et la croissance des peupliers : labour/hersage des friches ou hersage forestier. En milieu forestier, ce traitement doit se faire au bon moment, idéalement en juillet-août avec un 2e passage après trois semaines. Fait correctement, l'année précédant la plantation, le hersage avec la herse Crabe permettra ensuite de faire un seul dégagement total à l'année 2 ou 3. L'entretien des plantations doit être très rigoureux, les peupliers étant incapables de lutter contre la végétation concurrente, particulièrement les graminées. Cette concurrence a un effet marqué sur la croissance des peupliers causant un retard irrécupérable.

Coûts des plantations de peuplier

Les coûts de préparation de terrain, d'établissement et d'entretien des plantations pendant trois ans varient entre 1 500 $ et 2 500 $ l'hectare, en fonction de l'espacement choisi, du type de terrain (agricole ou forestier), de la méthode d'entretien et de la valeur des traitements sylvicoles admissibles à titre de paiement des droits ou des programmes d'aide de mise en valeur de la forêt privée (Périnet *et al.*, 1998). Dans certaines régions, la valeur des traitements admissibles pour la préparation de terrain forestier et la plantation a été révisée en 1999.

Principales réalisations

Au cours des 30 dernières années, plus de 3 700 clones ont été évalués dans une centaine de tests clonaux répartis dans tout le Québec. Ces clones proviennent de l'étranger ou de nos programmes d'hybridation où plus de 1 000 familles ont été obtenues par croisements dirigés. De plus, 50 tests de provenances et descendances et 30 plantations de collection ont été établis. Aujourd'hui, le Québec peut compter sur une cinquantaine de clones recommandés pour différentes régions écologiques. Ces clones sont maintenant multipliés dans les pépinières de Forêt Québec.

Toutes ces plantations expérimentales sont importantes pour maintenir la diversité génétique de nos populations d'amélioration et aussi pour obtenir des géniteurs plus rustiques et mieux adaptés aux conditions locales, tant chez les espèces exotiques que pour les hybrides. Le tableau 3 montre la diversité des clones recommandés où cinq espèces différentes contribuent à produire différents types d'hybrides. Des clones sont recommandés pour le sud du Québec, le Bas-Saint-Laurent–Gaspésie, le Saguenay-Lac-Saint-Jean et l'Abitibi-Témiscamingue, en fonction des régions écologiques. Les domaines écologiques 3 et 4 représentent une zone intermédiaire entre le

Québec méridional et les régions forestières boréales. D'autres tests devront y être installés pour mieux connaître les limites d'utilisation des clones ainsi que l'incidence du chancre septorien, pour l'instant absent de ces régions. À cet égard, les régions de l'Estrie, de la Mauricie et du Témiscamingue ont beaucoup d'atouts en faveur de la populiculure.

Rendements prévus et productivité des Plantations

En moyenne, les rendements des plantations de peuplier hybride seront de 160 à 240 m^3/ha en volume marchand à 20 ans, soit 8 à 12 m^3/ha/an. Sur un site plus fertile ou plus méridional, les rendements pourront facilement dépasser 200 m^3/ha à l'âge de 15 ans, représentant des accroissements de 15 à 20 m^3/ha/an. Ainsi, dans un test clonal à Saint-Mathieu, secteur Nicolas-Rioux, entre Trois-Pistoles et Rimouski, sur un site riche et bien pourvu en eau, la productivité a été en moyenne de 14,6 m^3/ha/an à 15 ans. En extrapolant les données des 10 meilleurs clones du test, ce chiffre atteint 19 m^3/ha/an (figure 1).

Dans le Témiscouata, au canton d'Estcourt, une plantation de 1974 réalisée avec le matériel disponible et selon la pratique du temps, c'est-à-dire en éliminant les horizons organiques en surface (décapage), a produit jusqu'à 15,6 m^3/ha/an dans le secteur le plus riche. Cette productivité chute à 8,3 m^3/ha/an et 1,7 m^3/ha/an dans le secteur moyennement fertile et la partie la plus pauvre, exempte de matière organique, en fonction de l'intensité du décapage.

Qualité du bois

L'objectif de production des plantations de peuplier hybride est orienté vers le bois de déroulage et le bois d'œuvre visant des produits à valeur ajoutée, une proportion variable de bois de trituration étant toujours générée selon la qualité des sites et des billes produites. Deux publications récentes de Forintek traitent des caractéristiques du bois de peuplier baumier et des clones de peuplier hybrides recommandés au Québec (Zhang, T. et G. Chauret, 1997 ; Chauret *et al.*, 1999). Même s'il est difficile de considérer plusieurs caractéristiques du bois dans un programme d'amélioration, chaque produit étant assez spécifique quant aux caractéristiques souhaitées, le bois produit en plantation est plus uniforme et exempt de pourriture. En résumé, ayant une faible résistance mécanique, ce bois est surtout destiné au déroulage et à la fabrication de panneaux à lamelles orientées (OSB). Les densités de bois observées en font l'essence idéale pour cette dernière industrie. L'utilisation du bois de peuplier peut être très diversifiée dans de multiples applications non structurales (panneaux, placages, caisses, boîtes, palettes, meubles pour enfants, pâtes et papiers, etc.). Des travaux de recherche devraient être entrepris pour optimiser l'utilisation de ce bois.

Perspectives d'avenir

Maintenant que nous disposons du matériel requis, nous pouvons entreprendre des croisements pour produire : 1-) des populations d'amélioration pour obtenir des géniteurs issus d'hybridation intraspécifique chez le *P. deltoides*, le *P. maximowiczii* et le *P. trichocarpa* ; 2-) des hybrides dont plusieurs clones ont déjà montré leur potentiel dans différentes régions ; 3-) des descendances qui nous serviront à évaluer les parents et mieux connaître l'héritabilité et la transmissibilité des caractères étudiés, comme la résistance au *Septoria musiva*. Notre programme ne doit pas être uniquement orienté vers des objectifs à court terme, comme la sélection de clones, mais il doit aussi avoir une perspective à long terme axée sur une stratégie d'amélioration solide.

En plus de consolider le volet des études génétiques, plusieurs autres aspects relatifs à l'amélioration des peupliers devraient faire l'objet de travaux de recherche importants. Parmi ces aspects, mentionnons la phytopathologie, particulièrement les travaux touchant au chancre septorien, ainsi que la génétique moléculaire. La sélection assistée à l'aide de marqueurs moléculaires permettrait, par exemple, d'éliminer beaucoup plus tôt les clones susceptibles à l'insolation hivernale, avant l'étape d'évaluation finale en test clonal. La biologie moléculaire et la biotechnologie représentent maintenant des outils incontournables où les retombées pour la génétique forestière sont sous-estimées pour l'instant. Le peuplier, de par ses caractéristiques et la taille de son génome, est en voie de devenir un arbre modèle pour ces disciplines.

Un autre secteur qui mérite notre attention est le potentiel de la populiculture pour restaurer les habitats contaminés par les polluants organiques, comme les pesticides, les nitrates et les solvants, présents dans les sols et les nappes souterraines. Un projet de phytorestauration auquel nous

collaborons est déjà en cours à l'Université Laval portant sur l'utilisation des symbioses racinaires et des peupliers hybrides pour dégrader les pesticides. Enfin, le volet socio-économique demeure une composante importante de la populiculture pour assurer la mise en valeur du bois de peuplier. À cet égard, des études économiques devraient être entreprises sur la rentabilité des plantations de peuplier hybride et le rôle qu'elles peuvent jouer dans le développement régional. De plus, face à ce nouveau mode de culture, les populations locales doivent s'approprier ces systèmes de production pour en faire des leviers d'activités économiques importants.

Remerciements

Nous remercions G. Vallée et particulièrement les techniciens H. Gagnon, S. Morin et F. Caron, ainsi que D. Lamontagne, M.-J. Mottet, J. Ménétrier et L. Pinet qui ont participé aux travaux de génétique sur le peuplier. Nous remercions tout particulièrement l'équipe de l'arboretum de Lotbinière : A. Bouffard, G. Dubois, M. Morin et M. Potvin qui réalisent des travaux d'amélioration chez le mélèze, les épinettes et le peuplier. Nos remerciements s'adressent également au personnel de l'équipe d'amélioration génétique des arbres, au personnel de la DRF et de la DPSP, au personnel des bureaux régionaux et des unités de gestion de Forêt Québec et à tous nos partenaires industriels et régionaux.

Références

Barthot, C. 1999. Poplar policy in France. International Poplar Symposium II, Orléans, résumé, p.13

Chauret, G., Koubaa, A. et Zhang, T. 1999. Caractéristiques et utilisation du bois des clones de peupliers hybrides. Rapport de recherche, Forintek Canada Corp., 53 p.

Mottet, M.-J. et Lamontagne, D. 1999. Un critère de sélection important pour le peuplier : la résistance aux maladies. Affiche présentée au colloque : L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous ?, Rivière-du-Loup, 28 au 30 septembre 1999.

Mottet, M.-J., Bussières, G., et Vallée, G. 1991. Test précoce pour l'évaluation de la sensibilité des peupliers hybrides au chancre septorien. Forestry Chronicle, août 67(4) : 411-416.

OMNR, [1991]. A Grower's Guide to Hybrid Poplar. Boysen, B. and S. Strobl (Eds.), Ontario Ministry of Natural Resources, 140 p.

Périnet, P., Stipanicic, A. et Vallée, G. 1998. Projet de développement de la culture intensive des arbres à croissance rapide. Rapport interne n° 440, Direction de la recherche forestière, Forêt Québec, 38 p.

Stettler, R.F., Zsuffa, L., et Wu, R. 1996. The role of hybridization in the genetic manipulation of *Populus*. *In* Biology of *Populus* and its implication for management and conservation. Part I, Chapter 4. *Edited by* R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp 87-112.

Zhang, T. et G. Chauret. 1997. Qualité du bois du peuplier baumier en fonction du site, de l'âge des arbres et de la hauteur : implication sur l'utilisation et la gestion des peuplements. Rapport de recherche, Forintek Canada Corp., 51 p.

Tableau 1. Principales espèces de peuplier

Section botanique	Espèce
Aigeiros	*P. deltoides, P. nigra*
Tacamahaca	*P. balsamifera, P. maximowiczii, P. trichocarpa*
Leuce	*P. tremuloides, P. tremula, P. grandidentata, P. alba*

Tableau 2. Croissance de six clones sur un site pauvre (Lotbinière, 10 ans) et un site riche (Saint-Ours, 5 ans)

		Lotbinière, site peu fertile -10 ans		**Saint-Ours**, site fertile - 5 ans	
Clone	**Hybride**	**Hauteur (m)**	**Diamètre (cm)**	**Hauteur (m)**	**Diamètre (cm)**
3230 *Boelare*	T x D	12,5	15,6	10,8	13,0
915508	DN x M	13,0	14,6	10,4	11,9
915311	M x B	13,1	16,2	8,9	9,2
915313	M x B	12,0	13,4	9,6	11,1
3333 *Stormont*	D x N	10,2	12,5	8,8	10,6
3308 *Reg. B. H.*	D x N	9,9	9,9	8,1	10,6

Tableau 3. Liste des clones recommandés de peuplier hybride

Clone	Hybride	Clone	Hybride	Clone	Hybride
22	J	3567	D x N	747215	B x T
131	D x N	3570	D x N	750032	M x (DxT)
1016	J	3585	D x N	750315	M x ?
1017	J	3586	D x N	915003	B x M
1062	J	3729	N x M	915004	B x M
1081	J	4397	D x N	915005	B x M
3217	M x N	4679	D x (DxN)?	915302	M x B
3225	T x D Unal	4723	D x N	915303	M x B
3230	T x D Boelare	4741	D x (DxT)?	915311	M x B
3308	DxN Reg.-B.-Ht.	4813	D x N	915313	M x B
3333	D x N	4909	B x N	915314	M x B
3347	Be femina	505194	M x (DxT)	915318	M x B
3374	B x M?	505227	M x (DxT)	915319	M x B
3375	B x M?	505326	M x (DxT)	915508	E x M
3454	D x M	505547	M x (DxT)	916401	E x M
3531	D x M	747210	B x T	917205	(DxT) x M
3565	D x N				

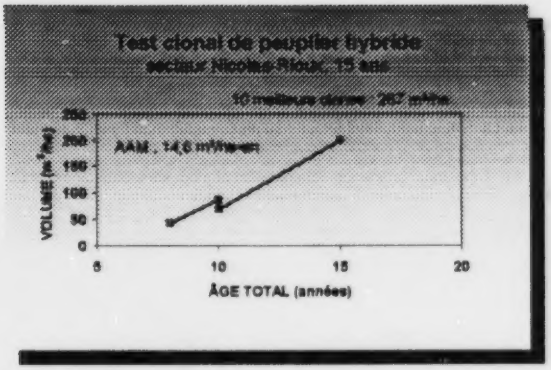


Figure 1. Productivité d'un test de peuplier hybride à 15 ans

LA PRODUCTION DE MATÉRIEL AMÉLIORÉ GÉNÉTIQUEMENT

LES VERGERS À GRAINES (voie sexuée)

Monsieur Luc Masse, ing.f.
DIRECTION DE LA PRODUCTION DES SEMENCES ET DES PLANTS
FORÊT QUÉBEC

Les vergers à graines (voie sexuée)

Introduction

Dès le milieu des années 70, le MRN a fait un choix stratégique en misant sur l'amélioration génétique et sur un programme de mise en place de sources de semences améliorées. Actuellement, ce choix s'avère judicieux et ce d'autant plus que la rentabilité est évidente dans un contexte de rareté de la ressource.

Aujourd'hui, plusieurs industriels choisissent d'aménager intensivement les aires à haute productivité forestière localisées près des centres de transformation.

Au colloque de juin dernier sur le reboisement, nous avons pu constater l'intérêt économique pour l'industrie et pour l'État à favoriser la plantation. Certains autres conférenciers du présent colloque ont aussi fait la démonstration que, grâce au gain génétique des plants issus de vergers à graines, la rentabilité économique du reboisement peut être améliorée.

Devant l'intérêt grandissant pour ces plants améliorés et après presque 20 ans de travaux d'aménagement de vergers à graines, nous sommes en droit de nous poser des questions :

- Où en sommes-nous avec les vergers à graines?
- Quels produits pouvons-nous en tirer?
- Qu'est-ce qui s'en vient dans ce domaine?

1- Le besoin actuel en plants

Afin de comparer la capacité de production des vergers à graines avec l'utilisation des plants qui en sont issus, nous avons mis à jour l'objectif annuel moyen à long terme en plants. Le total de 150 millions de plants est réparti de la façon suivante :

Tableau 1 : Objectifs annuels – Résineux

Objectifs annuels en résineux

ESSENCE	Milliers de plants	%
Épinette noire	79 692	53,99%
Pin gris	30 121	20,41%
Épinette blanche	28 834	19,53%
Épinette de Norvège	1 709	1,16%
Mélèze hybride	1 614	1,09%
Pin blanc	1 390	0,94%
Pin rouge	1 369	0,93%
Mélèze laricin	1 037	0,70%
Épinette rouge	935	0,63%
Sapin baumier	730	0,49%
Thuya occidental	122	0,08%
Pin noir d'Autriche	27	0,02%
Mélèze d'Europe	24	0,02%
Mélèze du Japon	4	0,003%
Pin sylvestre	2	0,001%
Total	147 671	100%

Tableau 2 : Objectifs annuels – Feuillus

Objectifs annuels en Feuillus

ESSENCE	Milliers de plants	%	ESSENCE	Milliers de plants	%
Peupliers hybrides	1 188,9	49,81%	Chêne à gros fruits	17,8	0,74%
Bouleau jaune	424,8	17,78%	Érable argenté	12,5	0,52%
Érable à sucre	272,7	11,41%	Noyer noir	10,8	0,45%
Chêne rouge	156,4	6,55%	Érable rouge	7,0	0,29%
Frêne d'Amérique	84,8	3,55%	Chêne blanc	5,4	0,23%
Cerisier tardif	50,5	2,11%	Caryer cordiforme	4,2	0,18%
Bouleau à papier	38,3	1,61%	Caragan de Sibérie	3,6	0,15%
Frêne de Pennsylvanie	33,3	1,40%	Érable noir	3,5	0,15%
Orme d'Amérique	28,0	1,17%	Frêne noir	2,3	0,09%
Noyer cendré	22,6	0,95%	Chêne pédonculé	1,2	0,05%
Tilleul d'Amérique	19,2	0,80%	Total	2 388	100%

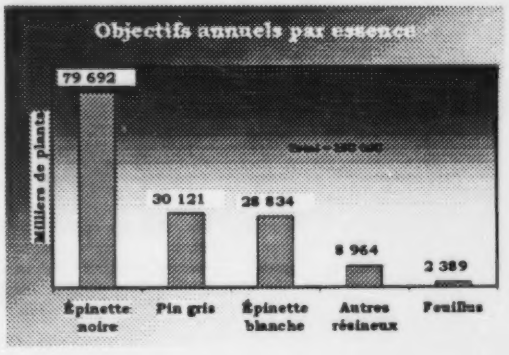


Figure 1 : Objectifs annuels par groupe d'essence

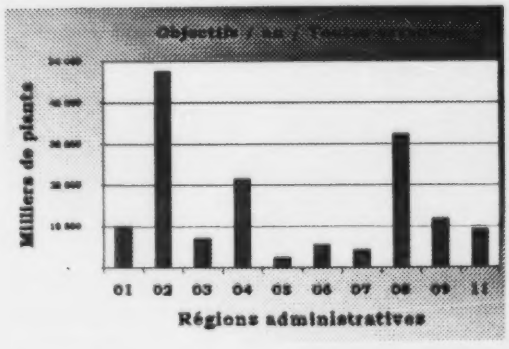


Figure 2 : Objectifs de reboisement par région administrative

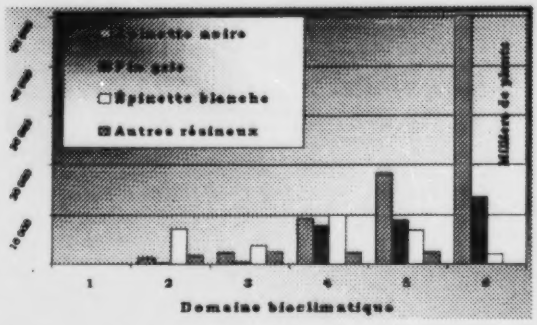


Figure 3 : Objectifs de reboisement résineux par domaine bioclimatique

Un tel objectif en plants nécessite la distribution annuelle d'environ 550 millions de semences viables. Pour ce faire, il nous faut récolter dans les sources de semences puis traiter annuellement au Centre de semences forestières de Berthier quelque 3 000 hectolitres de cônes ou de semences de feuillus.

2- Le réseau de sources de semences améliorées du MRNQ et de sa production

En appui à l'industrie et afin d'améliorer la productivité des forêts, le ministère des Ressources naturelles du Québec a débuté en 1980, l'implantation d'un réseau de vergers à graines devant fournir des plants adaptés au milieu avec une amélioration de la forme des tiges et de la croissance en volume, et ce, pour l'ensemble des besoins en plants.

Les gestionnaires du programme ont choisi de commencer par les zones les plus fertiles et par les essences les plus demandées et les plus susceptibles de réagir positivement à l'amélioration génétique.

Le MRN a ainsi établi ou a accès à un réseau totalisant 160 sources de semences améliorées de première génération comprenant :

- 94 vergers à graines de première génération
- 41 tests de provenance
- 21 tests de descendance
- 4 parcs à clones

Vergers à graines :
Le verger à graines est une plantation de clones ou de semis provenant d'arbres sélectionnés, isolée pour prévenir la pollinisation par des individus non désirables et aménagée pour une production rapide et abondante de semences améliorées en vue des reboisement. Les vergers à graines sont souvent établis avant que la qualité génétique des clones n'ait été évaluée par des tests de descendances. Une fois que les résultats des tests sont connus, les individus de qualité inférieure sont enlevés des vergers.

Tests de provenances :
Le test de provenances est une plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer des populations d'une même espèce d'origines géographiques variées.

Tests de descendances :
Un test de descendances est une plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer la valeur génétique de certains parents à partir des performances de leurs descendants.

Parc à clones :
Collection d'arbres d'élite, ou d'arbres plus, constituée en vue de son utilisation pour des travaux en génétique ou d'amélioration génétique des arbres.

De plus, nous avons aussi récemment établi 3 vergers à graines de deuxième génération.

Tableau 3 : Le réseau de sources de semences améliorées par type de sources

Type de sources	*Nombre de sources*	*Nombre de semenciers*	*Capacité annuelle moyenne de production (000 plants)*
Verger à graines	94	461 398	528 853
Test de provenances	41	26 252	34 529
Test de descendances	21	64 807	53 682
Parc à clones	4	1 925	6 154
Total	**160**	**554 382**	**623 218**

Le gain génétique anticipé des semences de ces sources varie de 3 à 10 %.

Durant les dernières années, à l'aide des prescriptions de sélection des généticiens, le MRN a procédé à l'éclaircie génétique, soit l'élimination des moins bonnes familles, de 92 vergers à graines et tests de descendances ou de provenances.

Dans presque tous ces cas d'éclaircie, comme les vergers avaient été implantés pendant la période où les objectifs de reboisement étaient de l'ordre de 300 millions de plants, ces sources sont en surcapacité de production. Cette surcapacité a aussi été accentuée par une amélioration des techniques de récolte et d'extraction des semences. En effet, cette opération avec la nouvelle usine améliore grandement le rendement en semences viables à

l'hectolitre. Donc, cette surcapacité nous permet d'être plus sélectifs dans la récolte de cônes. Ainsi, 38 vergers ou tests ont été subdivisés en classes de qualité et 282 000 semenciers y ont été étiquetés ou cotés. Les récoltes de cônes y sont séparées par classe. Cette façon de faire nous permet d'obtenir des semences avec 1 à 3 % de plus de gain génétique.

Alors après tous ces travaux d'établissement de vergers à graines, après leur entretien et l'éclaircie génétique, quelle production en avons-nous obtenue à date?

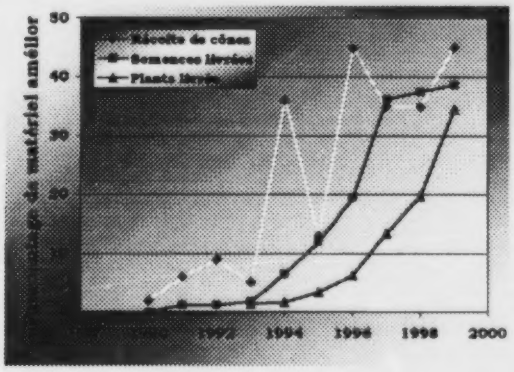


Figure 4 : La production obtenue selon les années – Proportion de sources améliorées

Nous pouvons constater que la part des sources améliorées dans la récolte de cônes, la distribution de semences et la livraison de plants progressent depuis 1990. Dans les dernières années, cette progression s'est accentuée pour atteindre 35 % (52 millions de plants) des livraisons de plants en 1999.

Faire des prévisions d'approvisionnement en semences et de livraison de plants issus de vergers à graines est risqué. Nous savons que le niveau de fructification peut varier selon la maturité des arbres et nos vergers sont encore jeunes. La fructification varie aussi selon un certain cycle par essence et selon les conditions environnementales.

D'un autre côté, l'objectif de reboisement entre les essences, les domaines bioclimatiques et les régions administratives est aussi sujet à évoluer. Pour toutes ces raisons, il faut prendre avec une certaine réserve toute prévision de disponibilité de plants génétiquement améliorés.
Malgré tout, la figure suivante décrit nos prévisions de disponibilité en plants améliorés par rapport aux objectifs, le tout par essence ou groupe d'essence.

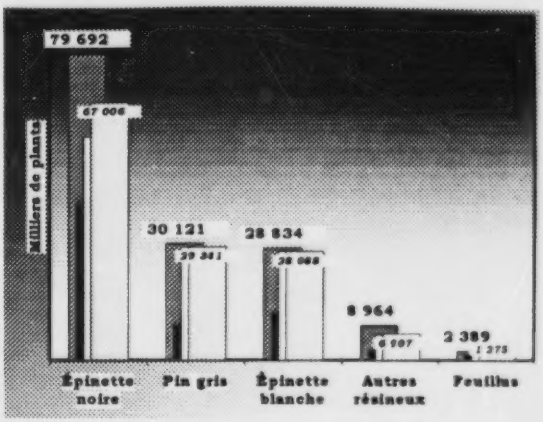


Figure 5 : Prévision de production - 2010

La proportion en plants résineux de sources améliorées à 35 % en 1999 devrait atteindre 43 % en 2000, 81 % en 2005 et 87 % en 2010.

Le manque de sources améliorées se retrouve principalement en épinette noire du domaine 6, soit 14 des 19 millions de plants en déficit.

Nous avons débuté un projet d'établissement, pour 2001, de vergers devant couvrir les besoins en épinette noire du domaine 6. L'arrivée des plants de ce verger de deuxième génération, à partir de 2012, viendra porter à 97 % le total en plants résineux améliorés. Les vergers de feuillus nobles généreraient des plants améliorés à partir de 2020.

Actuellement, nous n'envisageons pas la mise en place d'un programme d'amélioration génétique et l'établissement de sources de semences pour un besoin annuel total d'environ 2 millions de plants pour certaines espèces sans sources améliorées comme en PIR, SAB et THO. Nous ne pourrons donc jamais atteindre 100 % à moins que le choix de certaines essences lors de la planification soit différent.

Notre principale inquiétude actuellement vient du risque important engendré par les ravages causés aux cônes et semences de vergers à graines par certains insectes, principalement la **pyrale des cônes du sapin** et la **mouche granivore de l'épinette** sur l'épinette blanche et le **scolyte des cônes du pin blanc** sur le pin blanc.

Après avoir perdu des récoltes complètes dans certains vergers, nous avons entrepris le développement de moyens de détection et de lutte à ces insectes relativement peu connus.

Présentement, un groupe d'intervention sur les ravageurs s'organise autour des principaux intervenants comme la DPSP, la DCF, la DRF et les directions régionales. Il faut noter entre autres que des travaux de recherche sont en cours dont M. Richard Trudel est le maître d'œuvre. Enfin, nous avons dès maintenant des données sur l'impact des ravageurs pour plusieurs vergers. Ainsi, un premier épandage de *BT* pourrait être réalisé au printemps prochain contre la pyrale des cônes du sapin.

3- Pollinisation contrôlée

Cette activité pourrait facilement, à elle seule, faire l'objet d'une conférence. Disons simplement que la Direction de la production des semences et des plants coordonne la réalisation de croisements dirigés entre des arbres supérieurs identifiés par les généticiens de la Direction de la recherche forestière (DRF) et du Service canadien des forêts. À l'aide de techniques de cueillette, de conservation et de traitement des pollens, suivies de pollinisation contrôlée dans des sacs, nous obtenons des graines de qualité supérieure destinées au Centre de bouturage de Saint-Modeste. Par bouturage, des plants de haute qualité génétique, de 20 à 30 % de gains, y sont produits. En voici la répartition de l'objectif de production.

Tableau 4 – Objectifs de production de plants issus de boutures

ESSENCE	ZONE ou Dom.	OBJECTIFS CROISEMENTS DIRIGÉS 1999
Épinette noire	B	400
	C	600
	D	1 000
Sous-total		**2 000**
Épinette blanche	A(S+N)	400
Épinette de Norvège	C	50
Mélèze hybride	5cT	300
	1 à 6	700
Sous-total		**1 000**
GRAND TOTAL		**50**

4- La rentabilité

Il ne n'agit pas ici de se lancer dans une étude exhaustive de rentabilité. Nous désirons présenter les coûts directs de production de semences améliorées et les bénéfices directs anticipés par un calcul simple.

Les coûts de production

Tableau 5 – Coûts de revient annuels – Résineux

Programme provincial	Semences régulières $/K plants	Supplément pour semences améliorées $/K plants
Amélioration génétique et recherche sur les semences (DRF)	—	6,00 $
Production de semences (DPSP)	10,00 $	7,33 $
TOUTES	**10,00 $**	**13,33 $**
	Coût à l'hectare	**26,66 $/ha**

Sur l'ensemble de la production annuelle de plants, nous estimons à 6,00 $ du mille plants le coût du programme provincial d'amélioration génétique des résineux. Le programme de production de semences regroupe la coordination régionale et centrale, l'aménagement des sources de semences, la pollinisation contrôlée, la récolte de cônes ainsi que le traitement et la distribution de semences. Dans ces activités, pour la production de semences améliorées seulement, la Direction doit absorber un coût additionnel d'environ 7,33 $ du mille plants.

Le coût total de l'amélioration des semences forestières pour les deux programmes serait donc de 13,33 $ du K plants soit 26,66 $ de l'hectare de plantation (2 000 plants/ha).

Bénéfices anticipés

Nous utilisons le modèle suivant de calcul de la valeur présente des bénéfices tel que décrit par le Dr T.J. Mullin. Il permet d'obtenir la valeur actualisée des bénéfices sans effet de possibilité, dans ce cas-ci, et considère une hausse des droits de coupe suite à une hausse de la qualité de la matière ligneuse (dm^3/tige).

$$V_O = \frac{n \times I \times G_T \times S}{(1 + i^1)^n} + \frac{n \times I \times (1 + G_T) \times G_S \times S}{(1 + i^1)^n}$$

			Hypothèses de calcul
V_O	=	Valeur présente des bénéfices	
n	=	Période de rotation	50 ans
I	=	Accroissement annuel moyen	3,3 m^3/an
G_T	=	Gain génétique	5 %
G_S	=	Hausse des droits de coupe suite à une hausse de qualité de la matière ligneuse	5 %
S	=	Valeur des droits de coupe	12,55 $/$m^3$
i^1	=	Taux d'actualisation	4 %

Avec seulement 5 % de gain génétique et ces hypothèses de calcul, 165 m^3 à 50 ans, nous obtenons un bénéfice direct actualisé à l'État de près de 50 $ l'hectare de plantation. Si on applique ce bénéfice à 75 000 hectares, nous obtenons des bénéfices annuels de 3 750 000 $ pour l'État.

L'utilisation de plants de vergers à graines de première génération devient très rentable pour l'État, et cela, seulement en bénéfices directs, sans compter les indirects, induits et autres.

Pour l'industrie, dans une hypothèse simple et conservatrice où la valeur des droits de coupe est équivalente à la valeur marchande des bois sur pied (VMBSP), avec 5 % de gain génétique, l'exploitation verrait ses bénéfices actualisés des bois augmentés de 50 $ l'hectare de plantation.

L'amélioration génétique est un investissement très rentable pour l'État et, à mon avis, un bonus qui ajoute une bonne part aux profits d'exploitation.

5- Perspectives d'avenir

Afin de doubler le gain génétique des plants, le ministère des Ressources naturelles du Québec a entrepris la mise en place d'un nouveau réseau de vergers à graines de deuxième génération, principalement établis en pépinière.

À partir des meilleurs sujets parmi les descendants des vergers de première génération, nous recueillons des pousses qui, par bouturage ou greffage, donneront les plants constituant le nouveau verger.

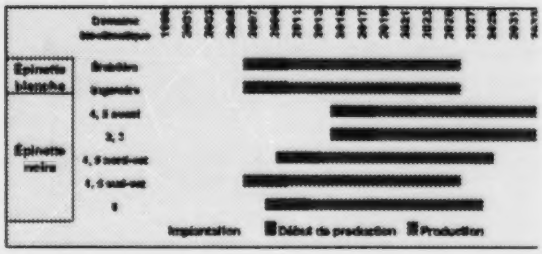


Figure 6 : Vergers de deuxième génération

Nous devrions commencer à obtenir des plants de ces vergers à partir de 2012 et, ils devraient plus que doubler le gain génétique anticipé des vergers de première génération.

Conclusion

En conclusion, la production de plants génétiquement améliorés progressera de 52 millions en 1999, à 67 millions en 2000 et à 120 millions en 2005 (80 %).

Le gouvernement a joué un rôle moteur et pourvoyeur de fonds financiers jusqu'à récemment et le choix de poursuivre l'amélioration génétique et de fournir un matériel de plus en plus amélioré et performant, s'avère un choix judicieux dans le contexte actuel de la rareté de la ressource.

Soyons fiers de ce que nous avons présentement parce que cette possibilité, qui est offerte de reboiser avec du matériel de plus en plus performant va démarquer le Québec.

LA PRODUCTION DE MATÉRIEL AMÉLIORÉ GÉNÉTIQUEMENT

LA RECHERCHE SUR LA REPRODUCTION SEXUÉE : LE LIEN INCONTOURNABLE ENTRE L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE ET LA PRODUCTION DE PLANTS

Madame Fabienne Colas, biol., D.E.S.S.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

Note : Ce texte a été préparé conjointement avec Monsieur Stéphan Mercier, ing.f., M.Sc., de la Direction de la recherche forestière, Forêt Québec.

La recherche sur la reproduction sexuée : Le lien incontournable entre l'amélioration génétique et la production de plants

Résumé

La reproduction des arbres est le complément indispensable de l'amélioration génétique. Les travaux de recherche permettent d'atteindre la gain génétique potentiel déterminé par les améliorateurs et visent à augmenter le rendement de production en graines améliorées, mais aussi à en augmenter la germination. Dans ce texte, nous allons présenter les différentes techniques développées et en cours d'élaboration à la Direction de la recherche forestière et démontrer en quoi un programme de recherche sur la reproduction est incontournable.

Pourquoi un programme de recherche sur la reproduction des arbres ?

La recherche sur la reproduction des arbres se situe à l'interface des programmes d'amélioration génétique et de production des plants destinés au reboisement. Les généticiens ont pour rôle de sélectionner les meilleurs géniteurs qui donneront des graines de qualité supérieure avec des gains génétiques maximum. Une fois que l'on dispose des meilleurs arbres, on doit les multiplier afin de produire le plus de plants possible pour rentabiliser l'investissement réalisé dans l'amélioration génétique. C'est à ce niveau qu'intervient la recherche sur la reproduction sexuée ou asexuée. Somme toute, les travaux de recherche sur la reproduction sexuée sont orientés de façon à :

- Optimiser la qualité génétique des graines;
- Maximiser la production des graines dans les vergers à graines de première et de deuxième génération;
- Développer des conditions de conservation du pollen des essences utilisées dans les programmes d'amélioration génétique;
- Réaliser des travaux sur l'aménagement intensif des vergers de deuxième génération.

Les travaux de recherche sur la reproduction asexuée sont principalement axés sur le bouturage (voir la conférence de D. Tousignant). Le bouturage est utilisé pour multiplier rapidement des copies conformes d'arbres de qualité supérieure (bouturage de l'épinette noire à Saint-Modeste), mais aussi le bouturage peut être une technique qui permet la production de plants lorsque le nombre de graines disponibles pour une espèce (comme le mélèze) est insuffisant. Les deux voies, sexuée et asexuée, sont complémentaires et les deux sont requises dans une stratégie de production à grande échelle de matériel génétiquement amélioré.

Les étapes suivantes, dans le processus de l'amélioration des arbres, sont le perfectionnement des techniques utilisées pour la production des plants puis pour les plantations. Au niveau mondial, l'emphase est maintenant mise sur les projets de recherche en reproduction des arbres. En effet, maintenant que l'on dispose de matériel de très grande qualité, la demande en plants génétiquement supérieurs est très élevée. Pour concrétiser l'investissement déjà réalisé et produire les plants qui vont exprimer tout ce potentiel, il faut mettre au point des techniques simples et peu coûteuses qui vont permettre d'obtenir un très grand nombre de graines. C'est à ce niveau que se situent les facteurs limitants.

1. L'aménagement intensif des vergers à graines de deuxième génération

Le gain génétique qui sera obtenu par les semences produites dans les vergers à graines de deuxième génération est trois à quatre fois plus élevé que celui obtenu durant la première génération, ce qui justifie amplement leur établissement. Un aménagement intensif doit toutefois être pratiqué dans les vergers de deuxième génération (davantage que ceux de première génération) pour assurer un gain génétique optimal. La gestion des fleurs mâles et femelles constitue l'essentiel de ces activités d'aménagement. Le but de cet aménagement se divise en trois volets :

- Optimiser la qualité génétique des graines;
- Maximiser la production des graines dans les vergers, et;
- Rentabiliser davantage et protéger les investissements.

Pour ce faire, différentes approches d'aménagement des vergers à graines de deuxième génération sont actuellement examinées par les chercheurs de la Direction de la recherche forestière (DRF) :

- la première consiste à cultiver les greffes dans des tunnels afin de créer un « *effet de serre* » qui accélère la croissance des cônes mâles et femelles ; la toile n'est présente au-dessus des greffes que durant les mois d'avril et de mai, permettant ainsi d'accélérer le développement des fleurs d'au moins deux semaines pour qu'elles atteignent leur maturité avant que le

pollen des greffes environnantes ne soit libéré. Actuellement, la DRF examine quatre modèles de structures : 1) un abri de forte dimension (20 pi de haut); 2) des abris individuels pour les arbres au champ; 3) un tunnel conventionnel, et; 4) un tunnel de forme dite *cathédrale*.

- Une seconde approche, beaucoup moins dispendieuse, consiste à cultiver les greffes de deuxième génération entre deux rangées de brise-vent espacées d'environ 60 à 80 m. Les chercheurs de la DRF pensent que le microclimat engendré par ces brise-vent accélérerait suffisamment le développement des fleurs femelles et limiterait ainsi la contamination pollinique. Les greffes y seront plantées avec un certain espacement et leur disposition sur le site permettra également de réaliser une éclaircie génétique autour de la 12^{ième} année; cette éclaircie aura le double avantage d'éliminer les greffes de moins bonne qualité génétique tout en augmentant l'accès aux rameaux situés à la base de la cime (figure 1). On devrait donc planter au départ les greffes de qualité supérieure entre deux greffes de qualité génétique moindre; ces dernières, qui serviront au cours des premières années de la vie du verger, seront ensuite être éliminées pour laisser la place aux greffes mieux classées génétiquement. La présence initiale des greffes de qualité moindre est essentielle pour maintenir la biodiversité dans la population de graines produites.

L'aménagement d'un verger à graines de deuxième génération, tout comme l'aménagement d'un peuplement forestier, doit pouvoir intégrer plusieurs facettes à la fois ; par leurs expérimentations, les chercheurs vont suggérer des modèles de vergers qui permettront ensuite aux gestionnaires en régions d'atteindre leur objectif ultime, produire des graines de qualité génétique en abondance pour répondre aux besoins de l'industrie forestière.

2. L'induction florale

L'un des objectifs de l'aménagement de ces vergers consiste à maximiser la production de cônes (induction florale) et à optimiser la qualité morphologique des graines. Dans un premier temps, les greffes doivent avoir suffisamment de lumière directe du soleil jusqu'au bas de la cime pour produire des cônes mâles et femelles durant la vie utile du verger, soit 20 ans. Pour ce faire, différentes approches doivent être examinées :

- **L'espacement** entre les greffes : la lumière est le principal facteur provoquant la production de cônes. Toutefois, un espacement trop grand entraînera un besoin en superficie plus grand pour l'installation du verger. Un espacement optimal avec une gestion adéquate des semenciers dans l'espace et dans le temps devra être déterminé;
- La **hauteur** des arbres : la production de cônes augmente de manière quasi exponentielle avec la hauteur, pour atteindre un seuil à un certain âge. Toutefois, une trop grande hauteur entraînera une augmentation des coûts de traitement des cônes (récolte de pollen et des cônes femelles, pollinisation, application des pesticides ou d'hormones, etc.). Encore une fois, une hauteur optimale devra être déterminée;

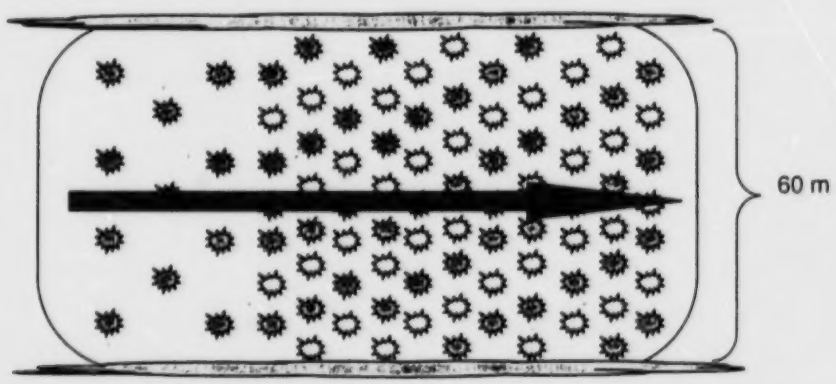


Figure 1. Schéma présentant un modèle théorique d'aménagement de verger à graines de deuxième génération entre brise-vent (la flèche indique la direction du vent). Les trois premières rangées à l'ouest du verger sont plus espacées afin de permettre une plus grande production de cônes mâles qui se trouvent à la base de la cime des greffes. Les greffes en pâle (greffes moins performantes génétiquement) pourraient être celles qui seraient éliminées autour de la 12^{e}année de production afin de laisser plus de lumière autour des greffes plus performantes.

- La **texture** du sol semble être un facteur déterminant à la production des cônes. En effet, un sol composé à 70, 20 et 10 % respectivement de sable, de limon et d'argile provoque une floraison régulière de cônes **à chaque année** dans les vergers d'épinette noire et d'épinette blanche;
- **L'origine** du porte-greffe semble jouer un rôle prépondérant dans le fait que certaines greffes seraient plus performantes que d'autres, à génotype égal, et;
- Enfin, diverses approches ont été développées pour induire la floraison, notamment, la **fertilisation** sous forme d'azote, le **cernage racinaire**, **l'annélation** partielle du tronc et **l'injection** de certaines hormones fournissent d'excellents résultats sur la production de cônes chez les épinettes.

3. Le pollen

Dans un croisement, 50 % du patrimoine génétique de la graine est fourni par le parent mâle via le pollen. Il est donc indispensable de développer des techniques qui vont assurer la qualité du pollen et en garantir la provenance.

3.1. Réduction de la contamination pollinique

Le tout premier objectif (le plus important !) dans l'aménagement des vergers à graines consiste à éliminer totalement tout contaminant pollinique, c'est-à-dire le pollen provenant des peuplements forestiers entourant le verger et dont on ne connaît pas la valeur génétique. Toutes les fleurs femelles du verger se doivent d'être fécondées par du pollen de qualité génétique éprouvée. Alors que la contamination dans un verger de première génération peut entraîner une perte maximale de 2,5 à 5 % du potentiel de gain génétique, celle dans un verger de deuxième génération entraîne une perte beaucoup plus grande, qui correspond en fait à la perte du gain génétique potentiel dû à l'effet paternel (c'est-à-dire provenant du pollen), soit environ 15 à 20 %. Différentes approches, telles que décrites plus haut, peuvent être envisagées pour atteindre cet objectif. Par ailleurs, il est important d'avoir en main une technique optimale et peu coûteuse pour déterminer le risque potentiel de contamination pollinique associé à chaque site. En effet, la détermination du taux potentiel de contamination de chaque station ne peut être évalué de la même manière et plusieurs facteurs doivent être pris en considération, comme la topographie, l'orientation des peuplements contaminants par rapport aux vents dominants, la production de pollen des arbres du verger par rapport à celle des arbres des peuplements adjacents, etc.

3.2. Pollinisation artificielle

Parallèlement au contrôle de la contamination pollinique, des travaux de recherche actuellement en cours visent à apporter artificiellement du pollen de qualité génétiquement éprouvée aux greffes du verger; c'est la pollinisation de masse. Cette technique a trois objectifs:

1) Augmenter le rendement en graines pleines dans les cônes;
2) Diminuer la contamination pollinique au sein du verger et;
3) Augmenter la diversité génétique.

Cette technique est très rentable économiquement ; bien qu'il ne suffise que d'une augmentation de 0,02 % du gain génétique pour compenser les frais liés à la pollinisation, les chercheurs s'attendent à une augmentation du gain d'au moins 10 %. Aux États-Unis, l'efficacité de cette technique n'est plus à prouver ; en effet, les gestionnaires de vergers à graines doivent même se justifier auprès des dirigeants de compagnies forestières s'ils ne peuvent procéder à la pollinisation de masse. La DRF a développé un pistolet électrostatique pour effectuer la pollinisation de masse. Cet appareil pulvérise du pollen de manière à créer un champ magnétique entre le pistolet et l'arbre à polliniser. Les grains de pollen, chargés négativement, sont attirés fortement vers l'arbre qui est mis à la terre. Comme les fleurs femelles sont plus conductrices que le tronc et les rameaux, le pollen électrisé se dépose en plus grande quantité et de façon plus uniforme tout autour des inflorescences femelles grâce à l'effet de l'enrobage électrostatique. L'installation électrostatique est fixée à l'intérieur d'une remorque adaptée à un VTT et permettant de travailler 5 à 6 m dans les airs ; l'opérateur manipule le pistolet à partir du sol pour les petits arbres ou les branches basses ou sur les deux paliers de la remorque assurant une pollinisation jusqu'à une hauteur de 5 mètres. Un système rétractable de toile assure à l'opérateur une protection adéquate contre le vent qui nuit beaucoup à la pollinisation. Actuellement, la recherche se tourne vers la mise au point d'approches permettant de diminuer la quantité de pollen requise, comme la dilution du pollen d'origine avec du pollen d'une autre source ou en déterminant avec précision la période de pollinisation (*timing*), ce qui limiterait le recours à une double pollinisation et diminuerait le volume de pollen requis.

3.3. Récolte de pollen

Comme la récolte de pollen est une opération cyclique (2 à 5 ans selon les essences), tributaire des conditions climatiques annuelles (printemps hâtif ou tardif, pluie, etc.) et relativement nouvelle en région, il

devient nécessaire de trouver une technique de récolte rapide, performante et économique afin de rencontrer les objectifs grandissants en volume de pollen nécessaire à la pollinisation de masse dans un verger à graines (au minimum 10 litres par année). Ainsi, pour rendre la pollinisation de masse encore plus opérationnelle, plusieurs recherches parallèles visent à mettre au point diverses techniques connexes, comme par exemple une adaptation de l'aspirateur allemand de marque *Vorwerk*, développée par la DRF, servant à récolter les quelques litres de pollen requis pour la pollinisation artificielle (tableau 1). D'autres techniques de récolte adaptées à certaines espèces, comme le mélèze dont les cônes mâles sont peu abondants et répartis aléatoirement dans la cime, sont en voie de développement et certaines sont très prometteuses (communication personnelle de Gaston Lapointe, DRF). Des travaux de recherche demeurent encore actifs à ce niveau afin de peaufiner ces techniques.

prévus dans le cadre des programmes d'amélioration génétique et pour la production de graines améliorées pourront se poursuivre grâce aux échantillons de pollen conservés dans la banque. La banque de pollen est aussi un outil pour le maintien de la biodiversité puisque l'on peut conserver durablement des lots de pollen d'essences et de provenances très variés. Les volumes conservés sont considérables et contrastent avec ceux contenus dans des banques dont le rôle est la conservation de pollens d'espèces menacées (tableaux 2 et 3).

4. Les graines

Quelle que soit l'espèce forestière étudiée, le but du programme d'amélioration génétique est de produire des graines qui donneront naissance à des arbres de qualité supérieure, présentant des gains génétiques les plus élevés possibles. Une fois que l'on dispose des graines, il faut concrétiser tout le travail réalisé lors de l'amélioration génétique c'est-à-dire produire

Tableau 1. Comparaison de la récolte de pollen manuellement et avec un aspirateur adapté de marque *Vorwerk* dans le verger à graines d'épinette noire du canton d'Estcourt en 1999

Paramètres	Type de récolte	
	Manuelle	Aspirateur
Temps de récolte [1]	57 heures	27 heures
Tamisage après récolte [2]	21 heures	Nul
Volume récolté (sec) [2]	1008 ml	930 ml
Rendement de travail	12,9 ml/heure	34,4 ml/heure
Teneur en eau avant séchage [3]	60,6 %	5,0 %
Teneur en eau après séchage [3]	8,8 %	0,4 %
Pourcentage de germination du pollen [3]	68,7 %	62,1 %
Contamination par *Fusarium* [3]	Nul	Nul

[1] Informations fournies par M. Michel Rioux (Pépinière forestière de Saint-Modeste)
[2] Total des deux tamisages, informations fournies par Mme Martine Lapointe (Équipe de R-D sur la reproduction des arbres)
[3] Moyenne des deux tamisages, informations fournies par Mme Martine Lapointe

3.4. La banque de pollen

Dès 1988, le Service de l'amélioration des arbres du ministère des Ressources naturelles du Québec a décidé de créer une banque de pollen d'arbres. L'objectif était de mettre au point les conditions de conservation à moyen et long terme des pollens des essences forestières étudiées dans le programme d'amélioration génétique afin de constituer des réserves conséquentes de pollen spécifiquement destinées à la poursuite de ce programme. Comme la production de pollen est irrégulière d'une année à l'autre, il convient d'en assurer l'approvisionnement constant. En cas de pénurie de pollen, les croisements dirigés

un arbre de qualité supérieure. L'étape de la germination de la graine est cruciale. À l'exception de l'épinette noire, il est très difficile d'obtenir une graine-un plant. Il est donc nécessaire de recourir à des ensemencements supérieurs à la demande afin de garantir la production. Cet ensemencement excédentaire coûte d'autant plus cher que les graines utilisées ont été produites dans des vergers à graines de 2e génération où les interventions sont nombreuses. Ces interventions sont tout à fait justifiées pour garantir le gain génétique maximal. Les causes d'une mauvaise germination sont multiples et varient selon les espèces. Le tableau 4 présente les principales.

Une fois la graine germée, le semis peut être attaqué par différents agents pathogènes causant principalement la fonte de semis et des chancres à la tige. La cause de ces maladies est due, en partie, aux agents pathogènes portés par les graines elles-mêmes. On parle de *Fusarium* et de *Phoma* portés par les graines résineuses de pin blanc et d'épinette blanche, mais aussi de *Sirococcus clavigignenti-juglandacearum* porté par les noix de noyer cendré et noyer noir. Ce dernier agent pathogène est tellement virulent (il se répand dans le sol et attaque les arbres matures) qu'il a entraîné l'arrêt total de la production de noyer au Québec depuis 1997.

Tableau 2. Les différentes étapes aboutissant à la mise en conservation des lots de pollen dans la banque

Étape	Action réalisée	Description détaillée
1	Récolte	Ramassage des cônes mâles déhiscents par temps sec et en absence de vent
2	Obtention des lots	• Séchage des cônes pour maximiser le rendement d'extraction du pollen • 2e séchage pour réduire la teneur en eau du pollen (améliore la qualité de la conservation)
3	Évaluation de la qualité des lots	Test de germination *in vitro* adapté à chaque espèce. Seuls les lots dont le taux de germination est supérieur à 60 % seront mis en conservation.
4	Mise en conservation	• Lyophilisation (déshydratation sous vide) • Conservation à – 30°C.

Tableau 3. État des réserves de pollen dans la banque du Fonds forestier à l'automne 99[1]

Espèce	Volume conservé (litres)
Épinette blanche, noire et de Norvège	20,8
Mélèze d'européen, hybride, japonais et laricin	1,6
Pin blanc, gris et tordu	8,4
Total	30,8

[1] Bien que les volumes soient considérables, il est important de préciser que lors d'années de faible production, ceux-ci diminuent très rapidement en raison de la demande. Les réserves seront reconstituées lors d'années productives.

Tableau 4. Description des causes provoquant des problèmes de germination des graines avec les solutions potentielles pour y remédier

Cause de la mauvaise germination	Espèce	Comment y remédier
Dormance embryonnaire	Épinette blanche, pin blanc, sapin baumier, érable à sucre, tilleul d'Amérique, frênes, cerisier tardif ...	Stratification (traitement par le froid humide) de durée variable (3 semaines à 3 mois)
Dormance tégumentaire	Pin blanc, tilleul d'Amérique, cerisier tardif, noyer, frênes...	Scarification (abrasion ou incision pratiquée dans le tégument ou le péricarpe de la graine)
Graines pleines mais non viables	Mélèzes	Effectuer un tri des graines beaucoup plus précis pour ne garder que les graines pleines viables.

5. Autres travaux connexes

D'autres approches d'aménagement des vergers de deuxième génération sont présentement à l'étude par les chercheurs de la DRF :

- **L'étêtage :** cette technique sert à maîtriser la hauteur des greffes sans nuire à la production de cônes, permet de réduire les coûts liés à la récolte des cônes ainsi qu'à divers autres travaux portant sur la cime (application de pesticides, d'hormones, pollinisation de masse, etc.);
- **La protection des cônes :** par ailleurs, il ne suffit pas de produire des cônes en abondance ; encore faut-il protéger nos investissements contre les agents nuisibles ! En effet, certains insectes ravageurs raffolent des cônes femelles qui regorgent de protéines. Étonnamment, très peu d'études ont porté sur ces insectes (les conifores et les granivores) de sorte que l'on connaît mal le cycle de ces ravageurs. En conséquence, on saisit difficilement les périodes idéales d'application des insecticides sur le terrain;
- **L'avortement des cônes :** une autre approche visant à protéger les investissements contre les ravageurs des cônes consiste à mettre au point une technique provoquant l'avortement des cônes lors des années où la récolte n'est pas requise. On limiterait ainsi l'occurrence d'éventuelles épidémies;
- **Le suivi de l'étalement de la floraison** peut poser certains problèmes dans la gestion des vergers à graines. En effet, la grande diversité génétique que l'on retrouve dans les vergers à graines entraîne un étalement de divers événements phénologiques comme, l'éclatement des bourgeons, la

dissémination pollen, la réceptivité des fleurs femelles, la maturité des graines et l'ouverture des cônes à la fin de l'été. Ce phénomène augmente le degré de difficulté dans bon nombre des techniques et peut provoquer des baisses de rendement ou de qualité des graines. Il est donc important de pouvoir quantifier l'ampleur du problème et de trouver des solutions pratiques dans un avenir rapproché.

6. Déjà des méthodes transférées au niveau opérationnel

Depuis que le programme de recherche sur la reproduction existe, de nombreuses recommandations et techniques mises au point sont maintenant utilisées de façon opérationnelle par la Direction de la production des semences et des plants (DPSP) :

- Le transfert au Service des expertises scientifiques, de liaison et de coordination de la DRF du traitement et de l'entreposage des lots de pollens des essences pour lesquelles la technique de conservation est au point, à savoir les pins et les épinettes;
- Diminution de la contamination pollinique dans les vergers;
- Recommandations sur les modalités d'établissement des vergers à graines de deuxième génération, notamment sur des sites où le sol est composé à 70 % de sable, l'espacement entre les arbres, la fertilisation, etc.;
- La pollinisation de masse à l'aide du pistolet électrostatique dans des vergers à graines notamment à Romieu (région 11) et Estcourt (région 01);
- La stratification opérationnelle de tous les lots de graines d'épinette blanche et de pin blanc destinés à la production de plants.

7. Recherches en cours

Le programme de recherche sur la reproduction concentre maintenant ses efforts sur :

- L'aménagement intensif des vergers à graines de 2e génération en développant des techniques d'intervention qui permettent d'aller chercher le gain génétique maximal disponible dans le verger;
- L'amélioration des techniques de récolte du pollen en réalisant notamment des récoltes mécanisées à l'aide d'un aspirateur. Cette technique est applicable aux essences dont les cônes mâles sont groupés sur les branches comme les épinettes et les pins. Pour les mélèzes où les fleurs sont réparties sur toutes les parties de l'arbre, il faudra développer une autre technique de récolte. Celle-ci sera très utile puisque la demande en graines de mélèze est très importante, il faudra donc effectuer de très nombreux croisements;
- La conservation du pollen de mélèze. Ce pollen est très délicat et donc difficile à conserver, il est produit de façon très cyclique, en faible quantité, est très long à récolter du fait de la faible quantité de pollen contenue dans chaque cône. Des essais sont en cours et il faudra encore quelques années avant de déterminer quelle méthode sera la plus efficace pour la conservation à long terme. Cependant les résultats sont encourageants et la récolte 2000 s'annonçant fructueuse, elle sera propice à la réalisation de très nombreux essais;
- La conservation du pollen de peuplier. Dans ce cas, la méthode à mettre au point facilitera grandement la réalisation des croisements dirigés réalisés par l'équipe de recherche sur l'amélioration génétique du peuplier. La récolte du pollen de peuplier est longue et fastidieuse, elle se déroule l'hiver par forçage de branches en serre. Pour chaque programme de croisements, il faut faire forcer un très grand nombre de branches afin d'avoir suffisamment de pollen. La mise au point de la conservation permettrait de réduire ce recours systématique au forçage et récolter le pollen au printemps en nature;
- L'amélioration de la germination des graines résineuses notamment l'épinette blanche et le pin blanc. La stratification permet d'améliorer grandement la germination de ces graines, mais il reste encore un certain potentiel non encore exploité. Des essais portant sur la scarification, l'enrobage et la modification des conditions de germination sont en cours;
- L'amélioration de la germination des graines feuillues. Les graines feuillues présentent des dormances très profondes difficile à lever, ce qui limite la production de plants pour ces essences. Des études sont en cours pour trouver un traitement efficace et simple permettant la levée de dormance des graines de cerisier tardif, de frêne d'Amérique et de tilleul d'Amérique.

LA PRODUCTION DE MATÉRIEL AMÉLIORÉ GÉNÉTIQUEMENT

TECHNIQUES DE MULTIPLICATION PAR LA VOIE CLONALE (voie asexuée)

Madame Denise Tousignant, biol., M.Sc.
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE
FORÊT QUÉBEC

Techniques de reproduction végétative : présentation et bilan des productions québécoises (voie asexuée)

Résumé

Plusieurs techniques de reproduction végétative sont utilisées au Québec pour multiplier des espèces forestières visées par des programmes d'amélioration génétique. Nous discutons ici de l'importance et de la place de la reproduction végétative pour la production de plants de reboisement, plus particulièrement, en rapport avec les techniques reproduction par graines. Nous présentons ensuite un bilan des productions québécoises actuelles et des recherches en cours, pour les techniques de bouturage, de greffage et d'embryogenèse somatique.

Introduction

L'amélioration génétique des arbres forestiers permet d'identifier le matériel végétal le plus désirable pour le reboisement, c'est-à-dire celui offrant une qualité génétique supérieure pour un ou plusieurs caractères. Par exemple, on cherchera à améliorer la croissance et la productivité des épinettes noires, ou encore, la résistance de l'épinette de Norvège au charançon du pin blanc, ravageur courant des plantations de cette espèce. Mais qui dit sélection, dit nombre limité d'individus... Or une fois les arbres d'élite identifiés, on voudra les reproduire en grand nombre pour maximiser leur utilisation – et les bénéfices en découlant. Comment y arriver ? C'est là la problématique liée au programme de recherche en reproduction des arbres.

Quelle voie de reproduction privilégier ?

Contrairement aux animaux, pour qui se reproduire implique normalement un accouplement et la fusion de deux cellules reproductives, mâle et femelle, les plantes peuvent emprunter deux voies distinctes pour se multiplier. La *reproduction sexuée* des végétaux ressemble à celle des animaux, en ce que chaque graine provient de la fécondation d'un ovule (femelle) par un grain de pollen (mâle). Chaque graine est donc unique, puisqu'elle résulte d'une recombinaison des bagages génétiques des deux parents. En contraste, la *reproduction végétative* (ou asexuée), très rare chez les animaux, se fait sans fécondation ni recombinaison de gènes, et donne naissance à plusieurs copies d'un même individu.

Phénomène obscur et abstrait, la reproduction végétative ? Moins qu'on le pense. Les marcottes d'épinettes noires peuplant la forêt boréale ne sont autres que des branches mises en contact avec le sol, qui se sont enracinées et graduellement séparées de l'arbre d'origine, dont elles sont pourtant génétiquement identiques. Il en est de même pour les boutures de tige prélevées sur une plante de maison, qui s'enracinent dans un verre d'eau pour devenir des plantes autonomes. On nomme *clone* l'ensemble des copies génétiquement identiques d'un même individu.

La reproduction par graines est, de loin, l'approche la plus répandue pour produire des plants de reboisement au Québec. Les graines sont généralement abondantes, et disponibles à un faible coût Les techniques de production de semis en pépinière, elles aussi, sont bien connues. Les récoltes dans les vergers à graines comblent la majorité des besoins en plants de reboisement de la province (voir les conférences de L. Masse et de F. Colas et S. Mercier dans le présent recueil).

Comme chaque graine est unique, les populations de semis ont une forte diversité génétique, avantage supplémentaire pour le maintien de la biodiversité des écosystèmes forestiers. Paradoxalement, cette diversité vient toutefois « diluer » le gain génétique, à cause de la recombinaison des gènes lors de la fécondation. Avec la reproduction sexuée, le plein potentiel génétique des sélections de matériel végétal n'est donc pas exploité. Seule la reproduction végétative – et c'est là son principal intérêt – conserve intact le bagage génétique d'un arbre.

Lorsque l'espèce s'y prête bien, que la qualité génétique des arbres le justifie, et à plus forte raison, que le nombre de graines est limitant, la reproduction végétative devient une voie à privilégier pour produire des plants de reboisement. Les exemples donnés plus loin l'illustreront concrètement. La génération de copies multiples de chaque clone augmente les quantités de plants disponibles et donc, les superficies reboisées avec ce matériel exceptionnel. Par contre, les techniques de reproduction végétative requièrent généralement des installations plus spécialisées et davantage de manipulations que la production de semis. Cela se répercute sur les coûts de production. La nouveauté de la plupart des techniques de reproduction végétative, du moins en ce qui concerne les espèces forestières, rend leur usage moins courant.

Actuellement, ces techniques représentent tout au plus 2 % de l'ensemble des plants livrés au reboisement au Québec.

Voilà donc le dilemme : produire en grandes quantités, quitte à sacrifier une partie du gain génétique, ou maximiser le gain génétique, mais être limité dans les quantités disponibles ?

Les techniques de reproduction par graines et par la voie végétative forment donc deux approches complémentaires, ayant chacune leur place en production de plants. Ce sont autant d'outils pour l'améliorateur d'arbres et le pépiniériste. Le choix de l'une ou de l'autre des techniques dépendra autant de l'espèce que de la stratégie d'amélioration retenue (Tableau 1). On optera pour la technique la moins chère parmi celles qui permettent de produire les quantités voulues, en tirant le meilleur parti possible des gains génétiques disponibles.

Tableau 1 : Comparaison des avantages et inconvénients propres aux modes de reproduction sexuée et végétative

Reproduction sexuée	*Reproduction végétative*
➢ Faible coût	➢ Coût plus élevé
➢ Techniques généralement simples	➢ Techniques plus complexes
➢ Grande diversité génétique	➢ Diversité génétique plus réduite
➢ Clonage impossible	➢ Clonage possible
➢ Gain génétique moindre	➢ Gain génétique maximal
➢ Maximum d'un plant livrable par graine	➢ Nombreux plants livrables pour chaque graine

Les modes de reproduction végétative présentés ci-dessous se limitent à ceux appliqués en foresterie au Québec. Il s'agit du bouturage, du greffage et de l'embryogenèse somatique. En milieu naturel, certaines espèces se reproduisent végétativement par marcottage, drageonnage ou division de touffes, mais ces techniques ne seront pas discutées ici.

1. Le bouturage

Le bouturage peut se définir par l'enracinement de fragments d'un végétal pour former des individus autonomes, grâce à la formation de nouvelles racines, dites *adventives*. La bouture, c'est-à-dire le fragment prélevé au départ sur le *pied-mère*, correspond en général à une portion de tige. Chez certaines espèces, on peut également bouturer des feuilles ou des fragments de racines. La technique est largement répandue, surtout en horticulture. Son utilisation en foresterie remonte à quelques dizaines d'années, avec les débuts des programmes d'amélioration génétique.

Le bouturage s'applique autant aux espèces herbacées que ligneuses, mais chaque espèce se montre plus ou moins apte à l'enracinement. Lorsqu'une espèce s'y prête, le procédé est relativement simple. Une population de pieds-mères est cultivée de manière à produire une abondance de boutures qu'on récolte à un stade de développement bien précis, propice à l'enracinement. Ces boutures sont insérées dans un substrat choisi pour favoriser le développement des racines. Parfois, on applique une hormone à la base de la bouture pour améliorer ou accélérer le processus d'enracinement. Le tout est ensuite placé dans un environnement spécifiquement aménagé pour promouvoir l'enracinement, tout en prévenant le dessèchement des boutures avant l'apparition des racines. Il peut s'agir, par exemple, d'une enceinte fermée hermétiquement qui emprisonne l'humidité de l'air, ou encore, d'un compartiment muni d'un système de brumisation qui pulvérise régulièrement des fines gouttelettes d'eau sur le feuillage. Au bout de quelques semaines, les boutures enracinées sont acclimatées à des conditions de culture standard. Dans les pépinières forestières, les boutures sont repiquées en récipients plus gros ou en pleine terre, puis cultivées pendant une ou deux saisons, jusqu'à ce qu'elles soient prêtes à la livraison.

L'aspect général d'un plant issu de bouture est comparable à celui d'un semis, bien qu'il existe des différences subtiles entre les deux, notamment au niveau de la branchaison et de l'architecture du système racinaire. Selon la littérature (Gemmel *et al.* 1991, Ritchie *et al.* 1992), la performance des boutures à la sortie de la pépinière et en plantation est similaire, parfois même supérieure, à celle de semis équivalents. De par leur composition génétique, les populations de boutures tendent à montrer une croissance plus rapide et homogène que des semis. Au Québec malheureusement, aucune étude approfondie n'a encore porté sur le sujet.

Chez les arbres, l'aptitude au bouturage est un caractère juvénile, qui diminue à mesure que l'arbre grandit et approche de l'âge de la floraison. Le bouturage d'arbres adultes donne des taux d'enracinement moindres que celui d'arbres plus jeunes. Même après l'enracinement, la croissance des boutures « adultes » est souvent lente, avec une pousse plus ou moins horizontale, au lieu d'être verticale et vigoureuse comme celle d'un jeune plant. Ce vieillissement des pieds-mères peut être ralenti en limitant la grosseur de la plante. Les pieds-mères d'espèces forestières subissent donc périodiquement des tailles sévères pour contrôler leur grosseur et retarder leur vieillissement,

tout en augmentant leur buissonnement et maximisant leur rendement en boutures. Les symptômes de vieillissement apparaissent plus ou moins tôt chez différentes espèces forestières. Ce phénomène est l'une des principales limites à la quantité totale de boutures qu'on réussit à prélever sur un même pied-mère. Dans les faits, la durée de vie utile d'un pied-mère d'épinette ou de mélèze dépasse rarement cinq ans.

Le renouvellement régulier des populations de pieds-mères est loin d'être un inconvénient. À mesure que progressent les travaux d'amélioration génétique, de nouveaux individus d'élite sont identifiés et peuvent être immédiatement introduits dans les populations. En pratique, de nouveaux pieds-mères sont mis en culture chaque année, ce qui assure une rotation équilibrée des lots de plants. Ce système très dynamique réduit considérablement les délais d'introduction de nouveaux arbres améliorés dans les plantations, si l'on se compare au temps entre l'établissement d'un verger à graines et les premières productions de cônes.

La rentabilité économique d'un système de bouturage est largement déterminée par le facteur de multiplication, c'est-à-dire le nombre total de plants livrables obtenus à partir de chaque pied-mère. Plus le facteur de multiplication est élevé, plus la capacité de production d'un système sera grande, et mieux on tirera parti d'une petite quantité de graines obtenues avec effort. Pour qu'un système soit performant, il faut en optimiser tous les aspects : le succès de l'enracinement de l'espèce, la croissance et le vieillissement des pieds-mères, le prélèvement judicieux des boutures, l'organisation du travail, le bon contrôle des conditions d'enracinement et l'adaptation de la culture des boutures enracinées.

En foresterie, on considère généralement que le prix d'un plant issu de bouture est raisonnable tant qu'il ne dépasse pas le double du prix d'un semis équivalent (Ritchie 1994). En effet, les gains économiques liés à la qualité génétique du matériel reproduit végétativement justifient les coûts de production supérieurs à la reproduction par graines : on obtient des plantations à rendement accru, produisant davantage de bois à l'hectare, de meilleure qualité, avec un moins de tiges à l'hectare ou encore, on peut récolter plusieurs années plus tôt que pour une plantation non améliorée. Un gain économique notable !

Le bouturage permet de multiplier des plants individuellement (stratégie « clonale »), ou encore, de multiplier en vrac une population, sans tenir compte de l'identité des individus (stratégie « de masse »). Les deux approches sont en usage au Québec, comme l'illustrent les exemples ci-dessous. Chaque espèce demande un scénario adapté à ses propres particularités biologiques, de même qu'à la stratégie d'amélioration dont elle fait l'objet.

Stratégie « de masse » : les épinettes

Dans le cadre des programmes d'amélioration de l'épinette noire, l'épinette blanche et l'épinette de Norvège, le bouturage sert à produire des plants de qualité génétique supérieure aux semis issus des vergers à graines. Le Centre de bouturage de la pépinière de Saint-Modeste, inauguré en 1989, livre annuellement plus de 2 millions de plants d'épinettes issus de boutures, grâce à son système « *Bouturathèque* », unique au monde et mis au point au ministère des Ressources naturelles du Québec (Tousignant *et al.* 1996, Vallée et Noreau 1990). Présentement, la production de boutures d'épinette noire (93 %) prédomine sur celle de boutures d'épinette blanche (6 %) et d'épinette de Norvège (1 %). Des efforts sont présentement consacrés à l'augmentation du niveau de production pour ces deux dernières espèces. Les plants issus de boutures sont expédiés dans plusieurs des régions administratives du Québec, mais la demande est actuellement la plus forte dans les régions du Bas-St-Laurent et de la Gaspésie.

Des croisements dirigés entre les meilleurs arbres identifiés dans les tests de descendances et les tests de provenances fournissent une petite quantité de graines d'élite. Chaque graine deviendra un pied-mère, dont la vocation sera de produire, sur l'ensemble de sa vie utile, plus d'une centaine de boutures qu'on fera raciner. On crée des *variétés multifamiliales* regroupant plusieurs familles (croisements), choisies en fonction de la zone d'amélioration génétique où sont destinés les plants. Le bouturage sert à multiplier chaque variété en vrac pour augmenter le nombre total de plants génétiquement améliorés livrés au reboisement.

Le système « *Bouturathèque* » comprend un ensemble de 24 mini-serres éclairées artificiellement, dans des salles climatisées à température contrôlée. Chaque mini-serre peut recevoir de 43 000 à 51 000 boutures d'épinettes à la fois. On peut réaliser jusqu'à cinq cycles de bouturage par année. Le taux d'enracinement moyen des boutures oscille entre 75 % et 80 %, mais certains lots peuvent atteindre des succès exceptionnels de 90 % et plus (M. Rioux, Pépinière de Saint-Modeste, communication personnelle). Dans ce système, les coûts de production des plants issus de boutures se maintiennent à 1,5 à 1,7 fois ceux des semis équivalents, c'est-à-dire des plants de fortes dimensions en récipients ou à racines nues.

Afin d'alimenter les bouturathèques, on cultive les pieds-mères d'épinette noire en conditions forcées, dans des

serres chauffées et munies d'éclairage d'appoint. Les graines de croisements dirigés sont semées dans des récipients de 200 cm^3. Ce récipient permet de maximiser l'utilisation des serres et le rendement total du système. Le régime de taille et de fertilisation est adapté aux exigences uniques du système. Les récoltes de boutures commencent très tôt, environ 14 semaines après la germination des graines, et se répètent environ 5 fois par année pendant trois ans.

Les pieds-mères d'épinette blanche et d'épinette de Norvège, quant à eux, répondent mal à la culture continue et, dans ces conditions, produisent nettement moins de boutures que des pieds-mères d'épinette noire. Leur scénario de culture a donc été modifié en fonction de leurs exigences. Ainsi, pour ces deux espèces, les pieds-mères sont cultivés en tunnel, dans des grands bacs, et donnent une récolte massive de boutures par année, au lieu de cinq récoltes plus petites.

Exceptionnellement, le bouturage est utilisé au lieu du greffage pour reproduire les clones d'épinette noire destinés aux vergers à graines de deuxième génération. Les boutures proviennent alors d'arbres âgés d'une dizaine d'années. Normalement, à cet âge, l'utilisation du bouturage est exclue à cause des problèmes associés au vieillissement des arbres. Pour l'épinette noire, on obtient néanmoins des taux d'enracinement encore acceptables (en moyenne, 30 à 50 %), et le ralentissement de croissance des boutures « matures » n'est que passager (Tousignant *et al.* 1995). Ces inconvénients sont mineurs, à la lumière des économies substantielles que permet le bouturage. En effet, même dans ces conditions, un plant issu de bouture coûte presque 10 fois moins cher qu'une greffe.

Autre stratégie « de masse » : l'érable à sucre

En 1999, une collaboration entre des chercheurs du Centre de recherche et développement en horticulture (Agriculture et agroalimentaire Canada), de la Direction de la recherche forestière (Fonds forestier) et de l'Université Laval a permis de démarrer un nouveau projet de recherche, explorant la possibilité de multiplier l'érable à sucre par bouturage. En effet, la difficulté de reproduire végétativement des érables adultes a été jusqu'à maintenant le principal obstacle à la création d'une variété d'érables à sève plus sucrée, destinée à l'acériculture. Des travaux récents (J. Bousquet *et al.*,, données non publiées) ont identifié des marqueurs génétiques permettant de sélectionner des érables à un âge beaucoup plus jeune qu'auparavant, ce qui donne un nouvel élan à la problématique. Les clones d'érable à sucre, dont le choix serait validé à un jeune âge grâce aux marqueurs génétiques, formeraient une variété qu'on pourra ensuite bouturer en vrac, comme c'est le cas pour les épinettes.

Nos travaux n'en sont qu'à leurs débuts, mais ils montrent déjà que des boutures prélevées sur des érables à sucre de moins de 10 ans s'enracinent relativement bien (D. Tousignant, données non publiées). Nous cherchons actuellement à identifier le stade de développement le plus propice à la récolte des boutures, à évaluer les variations génétiques de l'aptitude au bouturage, et à identifier le meilleur type d'environnement pour l'enracinement. Plusieurs étapes de recherche sont donc encore nécessaires avant d'évaluer la faisabilité et les coûts de la méthode.

Contexte de rareté de semences : le mélèze hybride

Les boutures enracinées peuvent aussi remplacer les semis pour les essences qui produisent peu de semences, comme le mélèze hybride. Au Québec, la demande pour cette espèce à croissance rapide s'est accrue considérablement au cours des dernières années. Malheureusement, l'approvisionnement en graines de qualité génétique reconnue ne suffit pas pour répondre à la demande. De nombreuses contraintes biologiques compliquent la reproduction sexuée des mélèzes, réduisant les rendements en graines et augmentant leur coût.

En 1998, notre équipe a démarré un projet de recherche à la Direction de la recherche forestière pour développer un système de bouturage adapté au mélèze. On cherche ainsi à multiplier le peu de semences disponibles et à atteindre les quantités visées. Pour l'instant, le matériel reproduit végétativement provient de vergers à graines à pollinisation libre, mais très bientôt, il s'agira de graines issues de croisements dirigés, de qualité génétique supérieure.

À cause de son feuillage abondant et luxuriant, le mélèze requiert trois fois plus d'espace pour s'enraciner que les épinettes. Vu cette contrainte, un scénario de production de boutures de mélèze basé sur le système « *Bouturathèque* » aurait entraîné des coûts prohibitifs, tout en forçant une diminution de la production de boutures d'épinettes. La décision d'aménager un nouvel environnement pour le bouturage du mélèze a permis d'harmoniser l'ensemble des productions du Centre de bouturage de Saint-Modeste. Il s'agit d'un environnement sous tunnel, doté d'un système de brumisation d'eau sur le feuillage. On y place les boutures vers la fin mai, afin qu'elles profitent de l'été pour s'enraciner.

Nos recherches se poursuivent pour adapter la culture des pieds-mères et les techniques d'enracinement des boutures aux particularités des mélèzes hybrides. D'autres travaux seront encore nécessaires pour perfectionner la culture des boutures, une fois

enracinées. D'ici quelques années, l'objectif de production devrait atteindre 0,5 à 1 million de boutures de mélèze hybride. L'avancement de nos recherches et la livraison des premières boutures de mélèze d'ici 2001 permettront d'élaborer un scénario de production intégré et d'évaluer les coûts de production. C'est une augmentation considérable, sachant que la première tentative de bouturer le mélèze dans le nouvel environnement ne date que de 1998 !

Stratégie " clonale " : le peuplier hybride

Depuis quelques années, devant l'intérêt et la demande croissante pour les essences à croissance rapide, plusieurs pépinières ont commencé à produire des boutures de peupliers hybrides. En 1999, le nombre total de plants livrés frôlait à peine 300 000, mais dès 2000, il dépassera 1,1 million de plants.

Les clones de peupliers sont sélectionnés en fonction des zones écologiques de chaque région. Contrairement aux exemples précédents, l'identité de chaque clone est préservée tout au long du processus, de la culture des pieds-mères à la plantation.

Dans chaque centre de production, on a installé des quartiers de pieds-mères, cultivés pour maximiser leur rendement en boutures. Chaque année, on prélève les boutures de peuplier alors qu'elle sont encore dormantes, semblables à des branches dénudées. Les boutures sont taillées à la longueur désirée, puis insérées directement en pleine terre ou en récipients. En une seule saison, les boutures s'enracinent et poussent jusqu'à leur taille livrable (70 cm et plus). Cette capacité des peupliers de s'enraciner directement, sans nécessiter d'environnement spécifique, permet de décentraliser la production de plants pour qu'elle soit plus près des sites de plantation en région.

La production de boutures de peupliers coûte entre $400 et $500 pour 1000 plants livrables. Vu la nouveauté du produit et des techniques de production, ces coûts seront sans doute ajustés dans les années futures.

2. Le greffage

Le greffage consiste en l'association permanente de deux individus vivants, pour ne plus en former qu'un seul. C'est une technique connue depuis plusieurs siècles, particulièrement répandue en horticulture. Le Québec possède un Centre d'expérimentation et de greffage spécialisé pour les arbres forestiers, situé à la Station forestière de Duchesnay.

Il existe toute une variété de techniques de greffage, mais toutes reposent sur des principes similaires. L'un des individus, appelé porte-greffe, fournit le système racinaire au second individu, le greffon. Le porte-greffe et le greffon sont taillés et agencés de façon à mettre en contact intime leurs tissus vasculaires. Le greffon est fixé et maintenu en place jusqu'à ce que la cicatrisation de la blessure fusionne définitivement les tissus des deux individus. Lors de la reprise de croissance, on taillera l'arbre de manière à ce que le greffon forme la totalité de la cime.

Le prélèvement de plusieurs greffons (sections de branches) sur un même arbre permet d'en créer des copies multiples, sur plusieurs porte-greffe. En général, le choix du greffon se fait en fonction des critères d'amélioration génétique, alors que celui du porte-greffe vise la meilleure compatibilité possible, de manière à bien réussir la greffe. Comme la compatibilité génétique contribue au succès d'une greffe, le porte-greffe et le greffon sont normalement de la même espèce, mais il est possible de réussir des greffes entre individus de variétés et même d'espèces différentes. Il arrive, notamment en horticulture, que le choix d'un porte-greffe particulièrement rustique permette d'introduire une nouvelle variété dans un climat plus rigoureux. D'autres combinaisons inusitées ont été réalisées à des fins ornementales. En foresterie, on explore la possibilité de manipuler la floraison d'arbres destinés à des vergers à graines, grâce à des combinaisons particulières de porte-greffe et de greffons (S. Mercier et M. Villeneuve, comm. pers.).

Le greffage est la technique la mieux adaptée à la reproduction végétative d'arbres adultes, généralement inaptes au bouturage et à l'embryogenèse somatique. L'âge physiologique du greffon est préservé après l'opération de greffage. Cette caractéristique est particulièrement utile lors de l'établissement de vergers à graines, puisqu'on cherche à promouvoir une floraison rapide et abondante.

Au Québec, on a recours aux techniques de greffage lors de l'établissement de vergers à graines, pour toutes les espèces sauf l'épinette noire. À cause des manipulations délicates nécessaires, le greffage exige une main d'œuvre hautement spécialisée et expérimentée, ce qui entraîne des coûts de production relativement élevés.

3. L'embryogenèse somatique

L'embryogenèse somatique est une technique de multiplication végétative *in vitro* qui permet de reproduire un clone, littéralement, à l'infini. Le potentiel de cette technique est immense, car elle ouvre véritablement la porte à la foresterie clonale à grande échelle (Tremblay 1992). Le terme « *somatique* » distingue les embryons obtenus végétativement, donc sans fécondation directe,

des embryons « *zygotiques* » que l'on retrouve dans une graine fécondée.

Chez plusieurs conifères, dont les épinettes et les mélèzes, des embryons somatiques sont obtenus en induisant la prolifération, puis la différenciation, de lignées de cellules embryogènes provenant de l'arbre d'origine (en général, il s'agit d'une partie de l'embryon, prélevée délicatement dans une graine mature ou immature, et qu'on a mis en culture). En modifiant progressivement les conditions de culture *in vitro*, les embryons se développent et deviennent matures. On peut ensuite les faire « germer », puis les transférer en sol pour qu'ils y poussent normalement.

Les cellules en culture peuvent être congelées dans l'azote liquide et conservées à très basses températures pendant de nombreuses années. Pendant ce temps, on peut réaliser des tests clonaux et sélectionner, d'après leur croissance à moyen ou à long terme, les individus les plus performants qui gagneront à être multipliés. Il ne reste plus ensuite qu'à décongeler les échantillons désirés et reprendre la culture et la production d'embryons somatiques, comme si de rien n'était. La cryoconservation contourne ainsi le problème du vieillissement présent avec les autres techniques de reproduction végétative.

Comme elle permet de régénérer des arbres à partir de simples cellules en culture, l'embryogenèse somatique s'avère aussi un outil précieux pour les travaux sur la transformation génétique, consistant à introduire dans des cellules des gènes d'autres organismes, afin de leur transférer des caractères spécifiques et désirables.

Divers organismes privés et publics travaillent donc à mettre au point des techniques qui pourront être mises en pratique à grande échelle, entre autres, pour l'épinette noire, l'épinette blanche, l'épinette de Norvège et les mélèzes. Ici encore, chaque espèce a ses particularités et exigences. Des tests clonaux sont déjà en place pour comparer des clones d'épinettes sur le terrain. Mais avant que la production d'embryons somatiques à grande échelle ne voie le jour au Québec, beaucoup de travail reste à faire pour réduire les coûts de la technique, l'adapter à un contexte opérationnel et y appliquer une stratégie d'amélioration véritablement clonale.

Conclusion

Les techniques de reproduction végétative permettent de rentabiliser la « crème de la crème » du matériel génétiquement amélioré, en complément à celles de reproduction sexuée. Chacune a son créneau particulier et sa propre raison d'être.

La demande pour des variétés et clones d'élite est grande, et continue de s'accroître. Depuis quelques années, les travaux des chercheurs, menés en étroite collaboration avec les pépinières, ont permis de faire plusieurs pas de géant. Malgré cela, plusieurs défis de taille demeurent : perfectionner et mettre à l'échelle opérationnelle les divers systèmes existants, et aussi, les adapter à de nouvelles espèces. Il est également primordial d'effectuer un suivi sérieux des plantations pour valider la qualité des plants et ajuster, s'il y a lieu, les normes de qualification aux nouveaux produits. Ces suivis en plantation permettront du même coup d'illustrer l'ampleur des gains génétiques obtenus et de mieux faire connaître les produits aux utilisateurs.

Avec le développement de ces nouvelles techniques et l'avancement des programmes d'amélioration génétique, la production de plants de reboisement issus de la reproduction végétative devrait continuer son essor dans les prochaines années.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Patrick Lemay et Jean-Philippe Mottard, de même que les employés de la pépinière de Saint-Modeste, pour leur soutien technique dans l'ensemble de ses travaux ; Fabienne Colas et Stéphan Mercier, pour leurs commentaires constructifs ; ainsi que Michel Rioux, Luc Masse, Pierre L'Écuyer et Daniel Robert, pour les informations fournies qui ont aidé à la préparation de cette conférence.

Références

Gemmel, P., G. Örlander et K.A. Högberg. 1991. *Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin.* Silvae Genetica **40** (4/5) : 198-202.

Ritchie, G.A., Y. Tanaka et S. D. Duke. 1992. *Physiology and morphology of Douglas-fir rooted cuttings compared to seedlings and transplants.* Tree Physiology **10** : 179-194.

Ritchie, G.A. 1994. *Commercial application of adventitious rooting to forestry.* p. 37-52 dans : Davis, T.D. et B.E. Haissig (éditeurs). *Biology of adventitious root formation.* Basic Life Sciences Volume 62. Plenum Press, New York.

Tousignant, D., M. Villeneuve, M. Rioux et S. Mercier. 1995. *Effect of tree flowering and crown position on rooting success of cuttings from 9-year-old black spruce of seedling origin.* Canadian Journal of Forest Research 25(7) : 1058-1063.

Tousignant, D., P. Périnet et M. Rioux. 1996. *Le bouturage de l'épinette noire à la Pépinière de Saint-*

Modeste. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. Rapport RN96-3004. 33 pages.

Tremblay F.M. 1992. *Des semences clonales par l'embryogenèse somatique*. Compte rendu du Colloque sur les semences forestières. Sainte-Foy, 12 et 13 février 1992. Gouvernement du Québec, Ministère des forêts, Direction de la recherche. p. 195-201.

Vallée, G. et R. Noreau. 1990. *La "Bouturathèque": système de bouturage compact hors serre*. Sainte-Foy, Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche (Forêts), Note de recherche forestière, Numéro 41. 6 pages.

ANNEXE 1

SÉANCE D'AFFICHAGE

Colloque « L'amélioration génétique en foresterie, où en sommes-nous ? »

LISTE DES EXPOSANTS

1	La diversité génétique : une alliée indispensable pour maintenir l'adaptabilité des essences forestières	M. Deslauriers, J. Beaulieu, G. Daoust, J. Bousquet, N. Isabel	SCF
2	Marqueurs moléculaires et boule de cristal : dissemblance et similitude	N. Isabel, J. Bousquet, J. Beaulieu	SCF
3	1. Diversité génétique des peuplements matures d'épinette noire après feu ou CPRS (D. Perry)	D. Perry et J. Bousquet	U. Laval
	2. Diversité génétique réduite chez l'épinette rouge (D. Perry)		
	3. Épinette noire et épinette rouge; un siècle de controverse (M. Perron)	M. Perron et J. Bousquet	U. Laval
4	Pour un rendement accru : la production de plants génétiquement améliorés	F.Tremblay	U. Laval
5-6	Développement et optimisation d'un système de propagation *in vitro* du pin gris à partir de nodules méristématiques	F. Tremblay	UQAT
7-8	La reproduction du mélèze : un beau défi à relever	F. Colas, S. Mercier, D. Tousignant	DRF
9	Le greffage : un outil d'hier, d'aujourd'hui et de demain	F. Gosselin	Centre de greffage Duchesnay
10-11	Centre de semences forestières de Berthier (CSFB)	M. Bettez, N. Brault	CSFB
12-13	La pollinisation artificielle : un outil essentiel pour la production de graines améliorées génétiquement	R. Pâquet, C. Parent	SCF-DRF
14-15	La production de plants génétiquement améliorés par bouturage à la Pépinière forestière de Saint-Modeste : 10 ans déjà !	M. Rioux	Pépinière Saint-Modeste

18	Les épinettes « anti-insectes », la dernière-née du génie génétique en foresterie.	A. Séguin	SCF
19	Techniques de sélection d'arbres résistants au charançon du pin blanc	R. Lavallée	SCF
19	Du viagra pour les arbres	G. Daoust	SCF
20	Un critère de sélection important chez le peuplier hybride : la résistance aux maladies	M.-J. Mottet	DRF
20	Variabilité clonale et évaluation morphologique et physiologique des plants d'épinette blanche (*Picea glauca*) produits par embryogenèse somatique.	M. Lamhamedi	DRF
21	L'embryogenèse somatique chez les différents genres de conifères	K. Klimaszewska, G. Pelletier	SCF
22-23	Un lien indispensable avec les feuillus : de la génétique… à la sylviculture.	A.Cogliastro, K. Benjamin, A. Bouchard	IRBV
		A. Roy, A. Rainville, J. Bousquet	IRBV, U. Laval
		D. Robitaille	DRF
24	Programme de mise en plan des dispositifs	G. Gagnon et coll.	DRF
24	Programme de récolte informatisé des données de dispositifs expérimentaux	G. Numainville et coll.	
24	Banque de semences (en collaboration avec le SCF)	S. Barette et coll.	

La diversité génétique : une alliée indispensable pour maintenir l'adaptabilité des essences forestières

Titulaires : Marie Deslauriers[1], Jean Beaulieu[1], Gaëtan Daoust[1], Jean Bousquet[2], Nathalie Isabel[1]

Adresse : [1] Centre de foresterie des Laurentides, C.P. 3800, 1055, rue du PEPS, Sainte-Foy (Québec), G1V 4C7

[2] Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4

Tél : (418) 648-5827 **Courriel** : mdeslauriers@exchange.cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

Le maintien de la diversité génétique au sein d'une espèce assure son adaptabilité face aux changements résultant de l'activité humaine et des perturbations naturelles. Plusieurs méthodes sont disponibles pour évaluer le niveau et la répartition de la diversité génétique chez les essences forestières. Ces estimations peuvent être obtenues aussi bien à partir des caractères morphologiques, biochimiques que moléculaires. Les indices de diversité évalués dans chacune des populations et leurs niveaux de différenciation permettront de déterminer les niveaux de référence pour mesurer l'impact possible des activités d'amélioration génétique et pour mieux articuler les stratégies de conservation des essences forestières.

Résultats :

Cette affiche présentera les différents indices et les techniques servant à estimer la diversité génétique. Quelques résultats obtenus chez des essences forestières du Québec permettront de voir comment les données de diversité génétique sont utiles pour les programmes d'amélioration génétique et pour la conservation des ressources forestières.

Marqueurs moléculaires et boule de cristal :
dissemblance et similitude

Titulaires : Nathalie Isabel[1], Jean Bousquet[2] et Jean Beaulieu[1]
Adresse : [1] Centre de foresterie des Laurentides, C.P. 3800, 1055, rue du PEPS, Sainte-Foy (Québec), G1V 4C7
[2] Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4
Tél : (418) 648-7137 **Courriel** : nisabel@exchange.cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

Une des contraintes majeures de l'amélioration génétique chez les arbres forestiers est l'âge tardif auquel on peut réellement évaluer un arbre au plan génétique pour des caractères adaptatifs (ex. : tolérance à la sécheresse ou au gel) ou d'intérêt commercial (ex. : qualité du bois, teneur en sucre de la sève). L'objectif de notre projet est de mettre en place des systèmes de sélection assistée de marqueurs moléculaires qui permettront d'obtenir sans attendre plus d'une vingtaine d'années des variétés de seconde génération aux caractéristiques améliorées.

Résultats :

Cette affiche vise à démystifier le comment et le pourquoi de l'utilisation des marqueurs moléculaires en foresterie et ce, à l'aide d'exemples concrets.

Diversité génétique des peuplements matures d'épinette noire après feu ou CPRS

Titulaires : D. Perry et J. Bousquet
Adresse : Centre de recherche en biologie forestière
Université Laval
Sainte-Foy (Québec)
G1K 7P4
Tél : (418) 656-2127 **Courriel** : bousquet@rsvs.ulaval.ca

Description et objectifs du projet :

Ce projet avait pour objectif de vérifier, à l'aide de marqueurs moléculaires, le maintien de la biodiversité de nature génétique au sein des peuplements matures d'épinette noire régénérés après coupe avec protection de la régénération et du sol (CPRS). Ces derniers peuplements sont majoritairement constitués d'arbres issus de marcottes préétablies représentant une structure clonale multiple. Les peuplements comparables utilisés étaient composés d'arbres issus de semences après le passage d'un feu.

Résultats :

Des marqueurs moléculaires ont été développés pour l'épinette noire, permettant de vérifier que la structure et les niveaux de variabilité génétique au sein des peuplements issus de CPRS étaient en tous points comparables à ceux relevés au sein de peuplements issus de feu. Ces résultats permettent donc de penser qu'une première ronde de CPRS, malgré son encouragement à la micro-structuration clonale, ne résulte pas en des effets génétiques détectables chez l'épinette noire à l'échelle du peuplement. La validation des effets du régime d'aménagement au niveau du système d'accouplement et donc au niveau de la génération filiale constituée par les semences est présentement en cours.

Diversité génétique réduite
chez l'épinette rouge

Titulaires : D. Perry et J. Bousquet
Adresse : Centre de recherche en biologie forestière
Université Laval
Sainte-Foy (Québec)
G1K 7P4
Tél : (418) 656-2127 **Courriel** : bousquet@rsvs.ulaval.ca

Description et objectifs du projet :

L'ampleur de la diversité génétique naturelle disponible a des conséquences importantes pour l'amélioration des essences forestières. Le cas de l'homogénéité génétique du pin rouge et de la difficulté d'améliorer génétiquement cette espèce est bien documenté. L'épinette rouge est, par rapport à l'épinette noire et l'épinette blanche, une espèce à distribution plus restreinte démontrant un spectre écologique d'adaptation moins large. Conséquemment, on peut penser que la diversité génétique de l'épinette rouge est plus restreinte, rendant de ce fait les stratégies d'amélioration moins efficaces. Ce projet avait pour objectif de vérifier, à l'aide de marqueurs moléculaires, l'existence et l'ampleur de la réduction de diversité génétique chez l'épinette rouge et d'en identifier les causes les plus probables.

Résultats :

Des marqueurs moléculaires ont été développés afin de quantifier l'ampleur de la diversité génétique chez l'épinette rouge. La diversité génétique observée était bien inférieure à celle observée chez l'épinette noire pour les mêmes marqueurs. Cette tendance était relevée tant pour les niveaux de polymorphisme que pour le nombre d'allèles et de l'hétérozygotie observée. Ces observations s'accordent avec l'amplitude écologique moindre notée chez l'épinette rouge. Il est également apparu que la diversité génétique de l'épinette rouge était un sous-ensemble de celle retrouvée chez l'épinette noire, suggérant une origine récente de l'épinette rouge durant le Pléistocène. Des effets anthropiques d'appauvrissement génétique semblent donc exclus. Ces résultats suggèrent également que de plus fortes intensités de sélection seront nécessaires chez l'épinette rouge afin d'atteindre des gains génétiques équivalents à ceux obtenus chez l'épinette noire.

Épinette noire et épinette rouge :
un siècle de controverse

Titulaires : M. Perron[1], M. Villeneuve[2] et J. Bousquet[1]
Adresse : [1] Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4
[2] MRN-Québec, Direction de la recherche forestière, 2700 rue Einstein, Sainte-Foy (Québec), G1P 3W8
Tél : (418) 656-2127 **Courriel** : bousquet@rsvs.ulaval.ca

Description et objectifs du projet :

Ce projet avait pour objectif de vérifier à l'aide de marqueurs moléculaires l'ampleur réelle du phénomène d'hybridation naturelle entre l'épinette noire et l'épinette rouge dans la Vallée du Saint-Laurent, permettant ainsi de mieux orienter la gestion des ressources génétiques et des moyens de production de semences dans cette région.

Résultats :

Des marqueurs moléculaires ont été développés afin de distinguer clairement les sujets purs d'épinette noire ou d'épinette rouge de leurs hybrides naturels ou introgressants. L'application des marqueurs à une quinzaine de populations naturelles de la Vallée du Saint-Laurent a permis de détecter des niveaux importants et variables d'hybridation naturelle, que ce soit au sein de peuplements mixtes, dominés par l'épinette noire ou dominés par l'épinette rouge. En comparaison, les phénomènes d'hybridation ou d'introgression sont apparus négligeables dans les régions allopatriques du nord pour l'épinette noire et du sud pour l'épinette rouge. Le projet a également permis de quantifier les biais d'évaluation encourus par l'utilisation de critères morphologiques d'identification. Ces résultats suggèrent la mise en place d'un système de certification génétique pour la sélection d'arbres dans la région de recouvrement des aires de distribution de ces deux espèces, ainsi qu'au niveau de la constitution génétique des graines issues des vergers à graines concernés et établis dans cette même région.

Pour un rendement accru : la production de plants génétiquement améliorés

Titulaire : Francine Tremblay
Adresse : Pavillon Charles-Eugène Marchand
CRBF, local 2241
Université Laval
Sainte-Foy (Québec)
G1K 7P4
Tél : (418) 656-7667 **Courriel** : francine.tremblay@sbf.ulaval.ca

Description et objectifs du projet :

Le rendement accru des forêts passe par la plantation d'arbres sélectionnés pour leurs caractéristiques supérieures tant pour leur croissance que pour leur morphologie et leur résistance aux maladies et aux ravageurs. L'utilisation de clones sélectionnés pour leurs caractéristiques supérieures est une approche courante dans la majorité des pays à vocation forestière. Au Québec, des plantations pour la sélection clonale chez l'épinette noire et l'épinette blanche n'ont été établies qu'au cours de ces dernières années par les techniques d'embryogenèse somatique. L'embryogenèse somatique est une technique qui permet le clonage de ces espèces à partir de graines génétiquement améliorées. Elle abrégera de beaucoup le cycle de sélection par la production d'un grand nombre de plants par clone tout en permettant de conserver les génotypes originaux en banque par la cryoconservation jusqu'à ce que leur rendement ait été vérifié sur le terrain.

Nos objectifs sont, d'une part, de développer au Québec l'expertise nécessaire pour la production des plants clonaux et, d'autre part, d'établir les tests clonaux pour la sélection ultérieure des meilleurs clones.

Résultats :

Au cours des dernières années, nous avons produit par embryogenèse somatique, pour l'établissement des tests clonaux, 7 853 plants clonaux représentant 87 clones d'épinette noire et 7 435 plants clonaux représentant 62 clones d'épinette blanche des meilleures familles de leurs programmes respectifs d'amélioration génétique. Chaque clone est de plus conservé dans une banque cryogénique. Les tests clonaux sont en cours pour les deux espèces. Plus récemment, nous avons commencé à développer les mêmes techniques pour les essences à croissance rapide comme les mélèzes hybrides et l'épinette de Norvège. Les premiers tests clonaux sont prévus pour les printemps de l'an 2000 et l'an 2001 pour les mélèzes hybrides et l'épinette de Norvège respectivement. Pour l'épinette de Norvège, notre but est la production de clones résistants au charançon du pin blanc. De plus, dans notre laboratoire, nous avons développé les techniques de transformations génétiques chez les conifères. Des plants de mélèze hybride et d'épinette blanche exprimant un gène rapporteur (GUS) ont été régénérés et analysés. Nous avons obtenu nos premières plantules transgéniques d'épinette blanche contenant le gène de *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*) dans le but de créer des arbres résistant à la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Développement et optimisation d'un système de propagation *in vitro* du pin gris à partir de nodules méristématiques

Titulaire : Francine Tremblay
Adresse : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
445, boul. de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec)
J9X 5E4
Tél : (819) 726-0971, poste 2363 **Courriel** : francine.tremblay@uqat.uquebec.ca

Description et objectifs du projet :

Notre équipe travaille au développement et à l'optimisation d'un système de propagation *in vitro* du pin gris qui emprunte la voie morphogénétique de multiplication par nodules méristématiques. Ce système rappelle celui mis au point chez le peuplier (McCown *et al.* 1988) et le pin radiata (Aitken-Christie *et al.* 1988). Les systèmes de nodules peuvent représenter une voie morphogénétique d'aussi grande importance que l'embryogenèse. La formation de nodules a également été rapportée chez le mélèze par Bonga (1996) et leur différenciation a alors donné lieu à des structures semblables à des embryons somatiques et capables de s'allonger en tiges. Nos travaux se concentrent plus particulièrement sur l'effet de l'environnement nutritif et des paramètres d'imbibition sur la réactivité du matériel.

Résultats :

Plusieurs conditions de durée, de température et de lumière (présence, absence) lors de l'imbibition des graines de pin gris ont été testées afin d'évaluer leur effet sur le pourcentage d'induction de nodules méristématiques. Le meilleur pourcentage d'induction de nodules (plus de 30 %) a été obtenu avec le traitement d'imbibition d'une durée de 24 h, à l'obscurité et sous 28 °C. Les travaux réalisés sur l'optimisation des phases de multiplication et de différenciation montrent que l'ajout de glutamine et d'asparagine stimule la multiplication des nodules méristématiques, tant pour l'intensité que pour la durée, et stimule la différenciation. Une série d'essais préliminaires indiquent qu'une diminution de la quantité d'azote inorganique (KNO_3) et de sucre (saccharose) dans le milieu de culture favorise la croissance des bourgeons et, éventuellement, leur développement en tigelles.

L'optimisation de la méthode vise la production de populations clonales de pin gris et l'établissement de plantations à haut rendement dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue où le pin gris représente une part importante des sources d'approvisionnement.

La reproduction du mélèze :
un beau défi à relever

Titulaires : Fabienne Colas, biol., DESS, Stéphan Mercier, ing.f., M.Sc.
et Denise Tousignant, biol., M.Sc.
Adresse : Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec)
G1P 3W8
Tél : (418) 643-7994, poste 287 **Courriel :** stephan.mercier@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

Les mélèzes sont de plus en plus en demande pour le reboisement au Québec, mais ils produisent peu de graines. L'approvisionnement actuel en graines ne suffit pas pour répondre à la demande en plants génétiquement améliorés. Cette pénurie découle de plusieurs problèmes biologiques propres aux mélèzes, pour la production du pollen, sa dissémination et sa conservation, ainsi que la pollinisation des fleurs femelles, la production des graines et de leur germination. Tous ces phénomènes sont liés entre eux. Un approvisionnement suffisant – et à un coût raisonnable – en graines de mélèze génétiquement améliorées ne pourra être atteint qu'en examinant chacune de ces questions.

Résultats :

Pour le moment, la meilleure façon d'obtenir des plants de mélèze en grande quantité est de passer par le bouturage, qui permet de produire plusieurs dizaines de plants à partir de chaque graine. Depuis 1998, le développement d'un système de bouturage opérationnel fait l'objet d'un projet de recherche. D'autres projets en cours visent à développer des techniques efficaces de conservation des échantillons de pollen dans une banque, de même qu'à améliorer les techniques de pollinisation de masse, dans un tout nouveau concept d'aménagement des vergers à graines. Un autre projet d'envergure devrait débuter sous peu pour mettre au point des traitements qui amélioreront la production de graines de qualité chez les mélèzes.

Le greffage : un outil d'hier, d'aujourd'hui et de demain

Titulaire : Fernand Gosselin
Adresse : Centre de greffage
Station forestière de Duchesnay
143, route Duchesnay
Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier (Québec)
G0M 3M0
Tél : (418) 875-2712 **Courriel :** stephan.mercier@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

Il existe plusieurs possibilités pour reproduire végétativement des arbres génétiquement améliorés. L'une d'elle consiste à greffer un rameau (le greffon) prélevé dans la partie supérieure d'un arbre-plus sur un semis de 2 ans (le porte-greffe). Cette technique est particulièrement utilisée pour constituer les vergers à graines et pour établir une collection d'arbres génétiquement performants. Cette approche présente plusieurs avantages dont notamment celui 1) d'effectuer une copie génétiquement conforme au sujet dont est prélevé le greffon ; 2) de faire plusieurs copies d'un même individu ; 3) de maintenir l'âge physiologique du greffon, ce qui lui permet de produire des inflorescences beaucoup plus tôt qu'en milieu naturel (on sauve entre 15 à 20 ans de culture dans le cas de l'épinette blanche par exemple) ; et 4) de maintenir la production de cônes près du niveau du sol, ce qui permet de réduire significativement les coûts de leur récolte.

Résultats :

- Démonstration de greffage sur place
- Photographies techniques sur les différentes étapes
- Greffe de plusieurs années : 1re, 2e année et 10 ans après le greffage pour constater les changements au fil des ans
- Démonstration de l'impact du greffage sur la production de cônes
- Présentation des futures venues de recherche dans ce domaine

Centre de semences forestières de Berthier (CSFB)

Titulaires : Michèle Bettez, responsable du développement au CSFB
Normand Brault, responsable technique au CSFB
Adresse : Centre de semences forestières de Berthier
1690, Grande Côte
Berthier (Québec)
J0K 1A0
Tél : (450) 836-3787 **Courriel** : centre.semence.berthier@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

Au Québec, l'extraction et le traitement des graines forestières s'effectuent au Centre de semences forestières de Berthier du ministère des Ressources naturelles du Québec. Le Centre est un complexe qui comprend une usine de traitements des semences, trois séchoirs à cônes et deux chambres froides pour la conservation des graines. Le CSFB a pour mandat d'alimenter en graines de qualité toutes les pépinières forestières du Québec qui cultivent des plants destinés au reboisement.

Résultats :

Le Centre de semences traite actuellement une quinzaine d'essences résineuses et autant d'essences feuillues. Actuellement 40 % des semences résineuses proviennent de vergers à graines établis dans les années 80. Dès l'an 2007, les 88 vergers à graines du Québec fourniront les semences requises pour cultiver les 150 millions de plants résineux prévus dans le programme de reboisement du gouvernement.

La pollinisation artificielle : un outil essentiel pour la production de graines améliorées génétiquement

Titulaires : René Pâquet[1] et Carol Parent[2]
Adresse : [1] Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, 1055, rue du PEPS, C.P. 3800, Sainte-Foy (Québec), G1V 4C7
[2] MRN-Québec, Direction de la recherche forestière, 2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec), G1P 3W8
Tél : (418) 648-7639 **Courriel** : rpaquet@cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

La pollinisation dirigée et la pollinisation de masse sont deux méthodes de pollinisation artificielle. La pollinisation dirigée permet, par des croisements inter et intra spécifique, d'améliorer une espèce avec un haut niveau de précision. Le coût élevé de cette technique et un rendement mitigé en graines commandent une approche moins coûteuse et plus productive à l'échelle opérationnelle : c'est la pollinisation de masse.

Résultats :

Avec cette seconde technique, on peut augmenter le gain génétique et le rendement en graines pleines par cônes tout en diminuant la contamination pollinique d'un verger à graines. Le gain génétique de cette technique est moins élevé que pour la pollinisation dirigée, mais les croisements réalisés produisent du matériel plus diversifié. Plusieurs techniques sont utilisées pour la pollinisation artificielle pose de sacs d'isolation et de dracon, équipement électrostatique, matériel pour le traitement et la conservation du pollen, greffes d'épinette en pot avec sacs de pollinisation, échantillons de pollen, seringues avec poires aspirantes-soufflantes, pistolet électrostatique, photos montrant les diverses étapes.

La production de plants génétiquement améliorés par bouturage à la pépinière forestière de Saint-Modeste : 10 ans déjà !

Titulaire : Michel Rioux
Adresse : Pépinière forestière de Saint-Modeste
410, rue Principale
Saint-Modeste (Québec)
G0L 3W0
Tél : (418) 862-5511 **Courriel** : michel.rioux@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

Faire connaître les techniques de bouturage utilisées à Saint-Modeste, par la description de la méthode de bouturage sur une base « industrielle ».

Le Centre de bouturage de Saint-Modeste est unique au Québec, il a pour mandat de livrer aux reboiseurs des millions de plants issus de boutures chaque année.

Par des démonstrations et une visualisation de pieds-mères et de boutures ainsi que de plants issus de boutures, les personnes intéressées seront en mesure de voir et constater l'avancement des techniques et de faire le lien avec l'une des conférences prévues au colloque. Les essences suivantes : épinette noire, épinette blanche, épinette de Norvège, mélèze hybride et peuplier hybride font l'objet de la démonstration.

Résultats :

Les participants auront une meilleure idée de ce qu'est un plant produit par bouturage et connaîtront davantage le Centre de bouturage de la Pépinière forestière de Saint-Modeste, l'un des rouages important du programme d'amélioration des arbres forestiers au Québec.

Caractéristiques et utilisation du bois des clones de peupliers hybrides

Titulaires : Gilles Chauret, Ahmed Koubaa et Tony Zhang
Adresse : Forintek
319, rue Franquet
Sainte-Foy (Québec)
G1P 4R4
Tél : (418) 659-2647 **Courriel** : gilles.chauret@qc.forintek.ca

Description et objectifs du projet :

L'étude a pour but d'évaluer les caractéristiques des clones de peupliers hybrides à croissance rapide afin d'aider les gouvernements et l'industrie dans la sélection des meilleurs clones pour le reboisement en fonction de leur utilisation. En première partie, les travaux ont porté sur l'évaluation des caractéristiques de 21 jeunes clones âgés de 3 ans provenant d'un site fertile et d'un site mal drainé dans le but de faire une sélection précoce des clones les plus performants. La deuxième partie avait comme objectif d'évaluer les propriétés physiques et mécaniques du bois de cinq clones de 15 ans recommandés pour reboisement dans le sud du Québec et deux clones de référence.

Résultats :

L'étude montre que le site a un effet déterminant sur la croissance et la densité du bois des arbres de tous les clones. Les résultats indiquent une variabilité inter clones pour la croissance et la qualité du bois. Cependant, la plupart des clones à forte croissance ont des densités et des propriétés mécaniques moins élevées que celles des clones à moins forte croissance. Il n'en demeure pas moins que l'uniformité du bois de l'ensemble des clones étudiés est tout à fait idéal pour le déroulage et la fabrication de panneaux OSB. Par ailleurs, les résultats de cette étude révèlent que les relations entre les propriétés du bois à 3 ans avec celles à 15 ans sont faibles. Par conséquent, il faut être prudent en faisant une sélection précoce pour la qualité du bois. Cette étude a permis d'identifier certains clones avec des densités supérieures tout en affichant une bonne croissance.

La qualité du bois et la recherche en amélioration génétique des essences commerciales

Titulaires : Ahmed Koubaa, ing.f., *Ph.D.* et S.Y. (Tony) Zhang, *Ph.D.*
Adresse : Forintek
319, rue Franquet
Sainte-Foy (Québec)
G1P 4R4
Tél : (418) 659-2647 **Courriel** : ahmed.koubaa@qc.forintek.ca

Description et objectifs du projet :

Le présent projet présente une révision de la littérature sur les progrès en amélioration génétique des essences commerciales pour la qualité du bois. Nos objectifs sont :

- d'évaluer les gains potentiels de l'amélioration génétique pour la qualité du bois ;
- d'identifier pour chaque essence les caractéristiques de qualité pour lesquelles on doit améliorer ;
- de présenter une stratégie pour incorporer la qualité du bois dans les programmes d'amélioration génétique des arbres.

Résultats :

Les résultats de la recherche indiquent que très peu de critères de qualité du bois furent considérés dans les programmes d'amélioration génétique des essences commerciales de l'Est du Canada. La densité du bois, la longueur des fibres et les critères morphologiques de l'arbre (forme du tronc, branches, défilement) furent les plus étudiées. Les caractéristiques qui ont une influence directe sur la transformation du bois telles que la résistance, la stabilité dimensionnelle et la chimie du bois furent négligées. Compte tenu que le concept de la qualité du bois dépend principalement du produit fini, l'amélioration génétique des essences doit tenir compte des propriétés influentes sur leurs usages respectifs. Cette étude présente des recommandations concernant les critères de qualité à considérer dans l'amélioration génétique de chaque essence commerciale.

Les épinettes « anti-insectes », la dernière-née du génie génétique en foresterie

Titulaires : Armand Séguin et José Valéro
Adresse : Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du PEPS
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7
Tél : (418) 648-5832 **Courriel** : séguin@cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

Les ravageurs et les maladies des arbres peuvent causer des pertes importantes de productivité. Il est donc important d'élaborer des stratégies de lutte efficaces, et la biotechnologie permet d'offrir des alternatives à l'arrosage d'insecticides par des solutions plus acceptables sur le plan de l'environnement et moins coûteuses. Grâce au génie génétique, il est maintenant possible d'insérer directement certains gènes chez des arbres supérieurs conférant l'ajout de certains caractères recherchés, tel la résistance aux ravageurs. Plusieurs années de recherches ont contribué à la mise au point du *Bacillus thuringiensis*, ou *Bt*, efficace contre une vaste gamme de lépidoptères, dont la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Nous avons donc combiner l'avancement des connaissances sur le *Bt* et les progrès de la biologie moléculaire afin d'insérer au code génétique de l'épinette le gène de *Bt*. Ce gène permet donc de commander la production de la toxine par l'arbre lui-même. En génie génétique, il s'agit de la transgénèse.

Résultats :

Les arbres transgéniques obtenus ont été soumis à des essais de toxicités contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et une résistance totale a été obtenue chez plusieurs lignées. Ces tests ont été effectués chez de jeunes semis *in vitro* et des essais en serre avec des arbres de plus de 20 mois seront complétés cet hiver. Tenant compte de la durée de vie des arbres, il est possible à long terme de voir apparaître le développement, chez les insectes, de la résistance au *Bt*. Afin de pallier à ce problème, nous comptons, entre autres, faire exprimer en même temps que le gène *Bt* un autre gène qui code dans ce cas-ci pour des inhibiteurs de protéases. Les inhibiteurs protéases sont des protéines qui bloquent la digestion de l'insecte. Introduit conjointement avec le gène *Bt*, l'arbre transgénique posséderait un double mécanisme pour lutter contre le ravageur et les risques qu'un insecte développe une résistance simultanée aux deux protéines sont considérablement réduits.

Techniques de sélection d'arbres résistant au charançon du pin blanc

Titulaire : Robert Lavallée
Adresse : Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du PEPS
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7
Tél : (418) 648-5803 **Courriel:** lavallee@cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

La résistance des plantes aux insectes est un phénomène connu et documenté. Cependant, en milieu forestier la recherche d'arbres naturellement résistant au charançon du pin blanc est un processus long et incertain. L'objectif de ce projet est d'accélérer le processus de sélection et d'identifier les arbres potentiellement résistant au charançon.

Résultats :

La mise en place d'un dispositif de sélection nécessite une des approches suivantes : 1) la sélection en milieu naturel, 2) l'introduction massive en milieu naturel d'insectes libres, 3) l'introduction massive dans des cages en milieu naturel et 4) les tests en laboratoires. Les critères importants à relever sont l'évaluation de la ponte, l'émergence des nouveaux adultes et l'établissement du ratio de survie (indice de résistance). Considérer les variations annuelles est un facteur important. Chacun de ces tests donne une information particulière et complémentaire sur la relation plante-insecte.

Du VIAGRA pour les arbres

Titulaire : Gaëtan Daoust
Adresse : Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du PEPS
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7
Tél : (418) 648-5830 **Courriel** : gdaoust@cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

Chez la plupart de nos conifères, la floraison est tardive et cyclique. Cette contrainte entraîne des délais dans l'avancement des programmes d'amélioration génétique puisqu'elle retarde la réalisation des plans de croisements. De même, dans les vergers à graines clonaux, la contribution de chaque clone est très inégale. Certains clones produisent très peu ou pas du tout et contribuent faiblement à la qualité génétique des lots de semences. Pour pallier à ces problèmes, des traitements hormonaux simples et peu coûteux ont été mis au point. Ils permettent, lorsque conjugués à des conditions climatiques favorables ou à des traitements culturaux particuliers, de stimuler la floraison mâle et femelle.

Résultats :

Dans un verger à graines d'épinette de Norvège, les traitements d'induction florale ont permis, lors de deux années d'essais (1994 et 1996), d'accroître de façon importante la production de pollen et de semences, mais aussi le nombre de clones participant à la fructification.

Chez l'épinette blanche, les traitements combinés ou non, à des techniques associées aux vergers sous abri, ont permis d'accélérer la réalisation du plan de croisement et de procéder à la mise en place des dispositifs d'évaluation de la qualité génétique des arbres constituant la population d'amélioration.

Un critère de sélection important chez le peuplier hybride :
la résistance aux maladies

Titulaire : Marie-Josée Mottet
Adresse : MRN-Québec
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec)
G1P 3W8
Tél : (418) 643-7994, poste 547 **Courriel** : mjmottet@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

Pour le peuplier, le contrôle de certaines maladies peut représenter un réel défi. Les maladies les plus importantes en plantation sont le chancre septorien, le chancre hypoxylonien, l'insolation hivernale et les rouilles et taches de feuilles. Cependant, il est possible de contourner ce problème par la sélection de clones génétiquement résistants. L'objectif du projet est de développer des méthodes d'évaluation rapide afin de sélectionner dès le jeune âge des clones plus résistants aux principaux chancres de même qu'à l'insolation.

Résultats :

Des tests d'inoculation artificielle à grande échelle avec les champignons responsables de ces maladies permettent l'élimination de clones trop sensibles dès le stade de la pépinière. Des clones résistant au chancre septorien et au chancre hypoxylonien sont ainsi développés. Des travaux sont en cours afin d'identifier les paramètres nous permettant d'évaluer de façon précoce la sensibilité à l'insolation hivernale.

Variabilité clonale et évaluation morphologique et physiologique des plants d'épinette blanche (*Picea glauca*) produits par embryogenèse somatique

Titulaire : Mohammed Lamhamedi
Adresse : MRN-Québec
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec)
G1P 3W8
Tél : (418) 643-7994, poste 515 **Courriel** : mohammed.lamhamedi@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

La croissance des arbres et la qualité du bois sont parmi les caractéristiques affectant directement la valeur de la ressource ligneuse. Au Québec, l'épinette blanche est parmi les essences les plus utilisées dans les programmes de reboisement. Cette essence a fait l'objet d'un programme d'amélioration génétique de grande envergure. Le clonage par embryogenèse somatique est une solution très prometteuse pour augmenter l'efficacité de ce programme d'amélioration. Cette nouvelle technologie permet en effet de reproduire rapidement des milliers de plants génétiquement identiques à partir de semences d'arbre au potentiel génétique supérieur. Elle permet aussi de conserver à long terme, dans l'azote liquide, les clones les plus performants. Les objectifs assignés à ce travail sont i) d'intégrer l'embryogenèse somatique dans le programme d'amélioration génétique de l'épinette blanche ; ii) de déterminer la variabilité morphologique et physiologique des plants somatiques à l'intérieur de la même famille ; et iii) d'évaluer la distribution des tannins au niveau des aiguilles comme indicateur de résistance vis-à-vis des insectes et des champignons.

Résultats :

- L'évaluation des variables morphologiques et physiologiques (capacité de croissance des racines, photosynthèse nette et efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs) a montré la présence d'une variabilité clonale qui pourra être utilisée pour assigner les caractéristiques du clone à celles du site et d'augmenter la productivité forestière ;
- Certains clones, au stade juvénile, ont montré une croissance en hauteur exceptionnelle avec une bonne architecture de la partie aérienne caractérisée par une faible densité de branches avec probablement moins de nœuds au stade mature. Ces clones pourront être reboisés dans les sites où la compétition végétale a des effets négatifs sur la croissance des plants ;
- La distribution des tannins (agrégats ou ruban) est contrôlée par le génotype du clone et pourrait conférer à l'arbre une meilleure résistance aux attaques d'insectes (tordeuse des bourgeons de l'épinette) et de champignons.

L'embryogenèse somatique chez les différents genres de conifères

Titulaire : Krystyna Klimaszewska

Adresse : Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du PEPS
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Tél : (418) 648-4638 **Courriel** : kklimaszewska@cfl.forestry.ca

Description et objectifs du projet :

L'embryogenèse somatique est une nouvelle méthode de clonage végétal *in vitro* qui constite à produire une multitude d'embryons génétiquement identiques à partir d'une seule graine. Afin de rendre accessible cette biotechnologie à l'ensemble des conifères, diverses ajustement sont apportés à chaques étapes de la régénération pour optimiser l'efficacité de la reproduction d'arbres supérieurs et la production de clones.

Résultats :

Les différentes espèces n'ont pas toute la même facilité à être propagées par cette méthode. Dans le cas des épinettes et des mélèzes, l'embryogenèse somatique est assez perfectionnée pour pouvoir être utilisée commercialement. Par contre, dans le cas des pins, la multiplication en masse d'un grand nombre de lignées est encore difficile. Pour certaines essences, les tissus embryogènes cryopréservés servent de banques clonales une fois que les essais sur le terrain seront complétés.

Reboisement d'espèces d'arbres feuillus de haute valeur sur des anciens pâturages : effets de l'accompagnement des espèces arbustives présentes (IRBV)

Le cloisonnement cultural : une technique de préparation des friches arbustives à la plantation des feuillus nobles (DRF)

Titulaires : Alain Cogliastro, Karyne Benjamin et André Bouchard
Adresse : Institut de recherche en biologie végétale
4101, Sherbrooke Est
Montréal (Québec)
H1X 2B2
Tél : (514) 872-9029 **Courriel** : cogliasa@magellan.umontreal.ca
benjamik@magellan.umontreal.ca

Titulaires : Denis Robitaille, Anick Patry et André Rainville
Adresse : Direction de la recherche forestière
Forêt Québec
2700, Einstein
Sainte-Foy (Québec)
G1P 3W8
Tél : (418) 643-7994 **Courriel** : denis.robitaille@mrn.gouv.qc.ca
andré.rainville@mrn.gouv.qc.ca

Description et objectifs du projet :

Le premier projet propose de caractériser la survie, la croissance et l'architecture des jeunes plants d'arbres feuillus de haute valeur plantés sur friches arbustives en fonction des conditions abiotiques créées par l'accompagnement arbustif.

Le second présente une technique de préparation des friches arbustives de 5 mètres et plus de hauteur qui favorise le développement des plantations de feuillus et les protège contre les éléments climatiques défavorables.

Résultats :

Enrichissement en espèces d'arbres feuillus de haute valeur des zones arbustives qui sont le résultat de l'abandon des activités agricoles.

Un nouvel outil de sélection pour l'érable à sucre

Titulaires : A. Roy[1], É. Forget[1], N. Isabel[2], A. Rainville[3] et J. Bousquet[1]
Adresse : [1] Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4
[2] Centre de foresterie des Laurentides, C.P. 3800, 1055, rue du PEPS, Sainte-Foy (Québec), G1V 4C7
[3] MRN-Québec, Direction de la recherche forestière, 2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec), G1P 3W8
Tél : (418) 656-2127 **Courriel** : bousquet@rsvs.ulaval.ca

Description et objectifs du projet :

Ce projet avait pour objectif la mise au point d'un système de sélection massale assistée par marqueurs moléculaires pour la teneur en sucre accrue chez l'érable à sucre, et visant la constitution accélérée d'une variété améliorée de première génération quant à ce caractère.

Résultats :

Des marqueurs moléculaires ont été identifiés, permettant de valider génétiquement la sélection massale d'érables à sucre à forte teneur en sucre. Dépendant des stratégies d'utilisation et des intensités de sélection employées, les approches de sélection massale assistée par marqueurs permettraient d'envisager des gains de 10 % et plus de la teneur en sucre dès la première génération et sans attendre les résultats de tests de descendances s'étalant sur une ou quelques dizaines d'années. On peut penser utiliser cette stratégie de sélection massale assistée par marqueurs dans le cadre de l'établissement de vergers à graines de greffes devant produire à faible coût et rapidement les semences améliorées requises.

Programmes de mise en plan et de récolte informatisée des données de dispositifs expérimentaux

Titulaires : Gaston Lapointe, Simon Barrette et coll.
Adresse : MRN- Forêt Québec
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec)
G1P 3W8
Tél : (418) 643-7994, poste

Description :

Démonstration des programmes informatiques permettant de faire : 1) la mise en plan électronique des dispositifs expérimentaux et 2) la récolte de données. Le premier (PLAN99) permet d'imprimer un plan détaillé et de préparer les fichiers de récolte de données. Le deuxième (GV91), très versatile, permet de définir les variables à considérer, fait la validation des données saisies. Il permet un retour en arrière et la correction de données déjà saisies, etc. Les deux programmes sont utilisables sur un ordinateur portatif MEMO.

Résultats :

Rapidité de mise en plan et de saisie de données. Élimination des erreurs de mise en plan grâce aux algorithmes de vérification automatique. Diminution des erreurs de saisie de données lors des mesurages. Élimination des erreurs de transcription des données Accès rapide au traitement des données. Accès à des données géoréférencées (coordonnées X et Y) pour des analyses spatiales.

ANNEXE 2

VISITE GUIDÉE

VISITE GUIDÉE – PROGRAMME

DATE :	**Le 29 septembre 1999**
POINT DE DEPART :	**Hôtel Levesque, Rivière-du-Loup**
HEURE :	**9 H 15**

1.	Déplacement vers le site no. 1	9 h 15 – 10 h 30
2.	Site no. 1 (30 minutes) *Test de descendances d'épinette blanche*	
3.	Site no. 2 (30 minutes) *Test clonal de peuplier hybride*	
4.	Dîner et déplacement vers le site no. 3	12 h 00 – 14 h 30
5.	Site no. 3 (30 minutes) *Test de descendances d'épinette de Norvège*	
6.	Site no. 4 (30 minutes) *Test de descendances d'épinette noire*	
7.	Premier déplacement vers Rivière-du-Loup	17 h 00 - 17 h 30
	Visite facultative de la pépinière de Saint-Modeste	**17 h 30 – 18 h 15**
8.	Deuxième déplacement vers Rivière-du-Loup	18 h 15 – 18 h 45

Site no. 1

Test de descendances d'épinette blanche de Rivière-Bleue (E410-D-2)
Zone d'amélioration de la sapinière

Caractéristiques du dispositif expérimental établi en juin 1980 :

- Domaine écologique : Sapinière à bouleau jaune
- Test de provenances-descendances comprenant 318 descendances mono-parentales et 20 lots de graines mélangées représentant 87 provenances réparties comme suit :
  - ✓ 53 provenances québécoises représentées chacune par 1 à 5 descendances
  - ✓ 14 provenances ontariennes représentées chacune par 1 à 5 descendances
  - ✓ 20 provenances de toutes les provinces canadiennes (graines mélangées)
- Semis produits en serre dans des conteneurs «Japanese paperpots» en 1979
- Dispositif en blocs aléatoires complets (7) avec des parcelles linéaires de 4 arbres
- Nombre total de semis mis en terre : 9064
- Espacement entre les arbres : 1,5 m x 2,5 m
- Superficie du dispositif : 2,83 hectares
- Préparation : ancien populetum de Cabano, mise en andin des déchets, «scalpage» du site
- Autres tests dans le Bas St-Laurent/Gaspésie : E410-D-3 situé dans l'arboretum d'Amqui et E410-D-6 situé dans le canton Robidoux à St-Edgar de Bonaventure

Faits saillants et résultats obtenus :

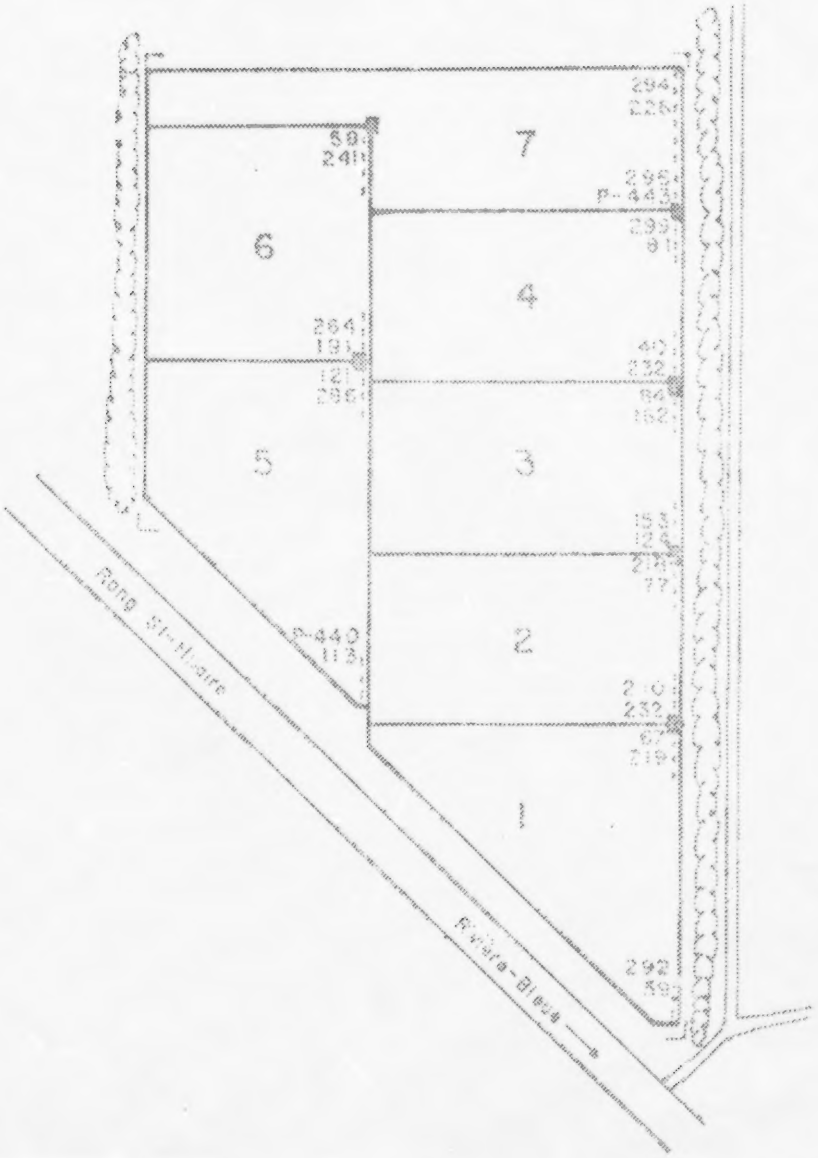
- Fertilisation : 1982, 100 g par arbre de 10-10-10, 1985 : 150 g par arbre de 13-13-13
- Survie en 1984 : 87,8 %, pertes dues à l'armilaire.
- 1987 : Gelées tardives, hauteur moyenne : 81 cm (20 cm - 2,09 m), survie : 82,6 %
- 1992 : Sélection des meilleures descendances et plus beaux phénotypes pour compléter la population d'amélioration et pour constituer les nouveaux vergers à graines de la zone de la sapinière; survie : 81,2 %, hauteur moyenne : 2,10 m (30 cm - 5,35 m)
- I.Q.S. estimé à 6 m à 25 ans : Site de faible fertilité
- Arbres sélectionnés dans 32 descendances pour la population d'amélioration. Gain génétique espéré : 10,4 %. Gain génétique espéré de la sélection de la meilleure descendance : 21,9 %.
- Arbres sélectionnés pour les vergers de deuxième génération dans 9 descendances. Gain génétique espéré : 14,7 %

Perspectives

- Conservation pour fins de recherche en génétique et changements climatiques
- Éclaircie si indispensable

Responsables : Jean Beaulieu, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides
André Rainville, Direction de la recherche forestière, Forêt Québec

EXP. 410-D-2 RIVIERE-BLEUE



Site no. 2

Test clonal de peuplier hybride de Saint-Eusèbe, canton Cabano

Région écologique 4a

Introduction

Ce test clonal fait partie d'une série de six plantations expérimentales établies dans le Bas-Saint-Laurent dans le cadre du programme de recherche en amélioration génétique du peuplier. Ce dispositif est le fruit d'une étroite collaboration entre la Direction de la recherche forestière (DRF), la Corporation agro-forestière Transcontinentale inc., Norampac division Cabano, le bureau régional du Bas-Saint-Laurent et l'unité de gestion Grand-Portage (U.G. 11) de Forêt Québec. Les travaux sont financés par le Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier où la Corporation agro-forestière Transcontinentale inc. agit à titre de promoteur.

Objectif

Les résultats de ce test clonal permettront de recommander de nouveaux clones pour la populiculture dans le Témiscouata. Voici les étapes successives de sélection : des semis, obtenus par croisements dirigés dans nos programmes d'hybridation, servent à établir des tests de descendances dans lesquels sont sélectionnés des individus supérieurs. Puis, les arbres prometteurs, d'abord multipliés par bouturage, subissent une 1re évaluation dans des tests clonaux précoces à l'âge de 5 ans. Par la suite, les clones les plus performants sont regroupés dans des tests clonaux, comme celui de Saint-Eusèbe, pour leur évaluation finale dans différentes régions écologiques. Une 1re sélection peut être faite à l'âge de 5 ans mais les résultats définitifs ne seront connus qu'à l'âge de 10 ou 15 ans. Après 5 ans, les meilleurs clones peuvent aussi être testés dans d'autres régions aux conditions écologiques similaires.

Dispositif expérimental (CAB21196)

État antérieur du terrain	Friche
Sol	Loam limoneux
Préparation de terrain	Labour printemps 1996
	Double hersage (herse à disques) + un passage herse à dents
Mise en terre	Boutures 30 cm sur paillis de plastique, 1re semaine de juin 96
Nombre de clones	**254**
Types d'hydrides représentés	**35**
Nombre d'arbres par parcelle	**2**
Nombre de blocs ou répétitions	**11**
Nombre total d'arbres	**5 586**
Nombre de tiges à l'hectare	**1 562**
Espacement	2 m x 3,2 m
Entretien	Été 1997 : désherbage au rotoculteur entre les rangs
	Étés 1998 et 1999 : désherbage chimique (Vision), pulvérisateur avec cache (largeur 2,5 m)
Élagage	Prévu début juin de l'année 6 (2001), 1/3 de la hauteur, fréquence aux 2 à 3 ans
Éclaircie	Prévue vers 8 à 10 ans

Résultats

Mesurages prévus : à 5 ans (2000), 10 ans (2005) et 15 ans (2010)

Mesurage	Survie	Hauteur moyenne	Hauteur moyenne des 10 meilleurs clones	Hauteurs maximale et minimale
Automne 1997 (2 ans)	90 %	1,72 m	2,5 m (95 % survie)	2,61 m et 0,58 m
Automne 1999 (4ans, partiel*)	82 %	4,35 m	---	7,1 et 1,0 m

* : 150 arbres (3 %) répartis au hasard dans tous les blocs

Responsables : **Hervé Gagnon et Pierre Périnet,**
Direction de la recherche forestière
Forêt Québec

Test clonal de peuplier hybride de Saint-Eusèbe (CAB21196)
Région écologique 4a

Fiche descriptive de 5 clones recommandés

Arrêt	A	B	C	D	E
Numéro de clone	**3729**	**3454**	**505227**	**915314**	**3374**
Type d'hybride	***N x M*** ***P. nigra* X *P. maximowiczii***	***D X M*** ***P. deltoides* X *P. maximowiczii***	***M x (DT)*** ***P. maximowiczii* X *(P. deltoides x P. trichocarpa)***	***M x B*** ***P. maximowiczii* X *P. balsamifera***	***B x M*** ***P. balsamifera* X *P. maximowiczii***
Zone recommandée	Domaines 1 et 2	Domaines 3 et 4	Domaines 3, 4, 5, 6, 7, 8	Domaines 3, 4, 5, 6	Domaines 3, 5, 6, 7, 8
Origine	Allemagne, croisement dirigé	Ontario, croisement dirigé	DRF, croisement dirigé	DRF, croisement dirigé	Ontario, croisement dirigé
Année d'obtention	1988	1984	1985	1985	1985
Remarque	Clone NM6 utilisé en Ontario et aux USA. Intéressant ici si assez rustique à long terme (insolation ?)	Susceptible au chancre septorien dans le sud du Québec.	Clone très plastique : régions et sites différents.	Plusieurs clones de la même famille sont recommandés ou prometteurs dans différentes régions.	Dans quelques années, pourra être remplacé par des clones plus performants
Hauteur moyenne (4 ans)	**6,40 m**	**6,18 m**	**5,16 m**	**5,73 m**	**4,70 m**
Moyenne pousse de 1999	2,12 m	1,97 m	1,57 m	1,95 m	1,20 m
Diamètre moyen (4 ans)	**5,7 cm**	**5,7 cm**	**4,8 cm**	**5,2 cm**	**3,8 cm**
% de survie	100 %	70 %	100%	90 %	80 %

Site no. 3

Test de descendances d'épinette de Norvège du secteur Laroche (LAR04592)
Zone d'amélioration des Appalaches

Caractéristiques du dispositif expérimental établi en 1992:

- test de provenances-descendances comprenant 266 descendances regroupées sous 35 provenances réparties comme suit:
  - > 13 provenances recommandées (REC) comprenant 64 descendances (5 desc./prov.);
  - > 8 provenances polonaises (POL) comprenant 140 descendances (5-61 desc./prov.);
  - > 13 provenances commerciales (COM) comprenant 62 descendances (2-5 desc./prov.).
- 3 provenances témoins (Proulx en Mauricie, Smith en Estrie et Istebna de Pologne).
- dispositif en blocs aléatoires complets (18) avec parcelle de 2 arbres par descendance.
- 13 000 semis expérimentaux (1an en conteneur-2 ans en pépinière).
- superficie du dispositif : 4 ha.
- domaine écologique : sapinière à bouleau jaune (sol: loam limoneux sur loam).
- coupe ancienne envahie par le framboisier et érable à épis.
- semis à racines nues bien équilibrés; bonne qualité de mise en terre; bon contrôle de la compétition herbacée et des framboisiers (Traitement au Vision avant plantation).
- espacement entre les plants : 1,5 m x 2,0 m.
- 2 autres tests associés, établis en 1992, dans le Canton de Mann, Baie des Chaleurs (érablière à bouleau jaune) et dans le secteur Patapédia (sapinière à bouleau blanc).

Faits saillants et résultats 5 ans après plantation (1996) :

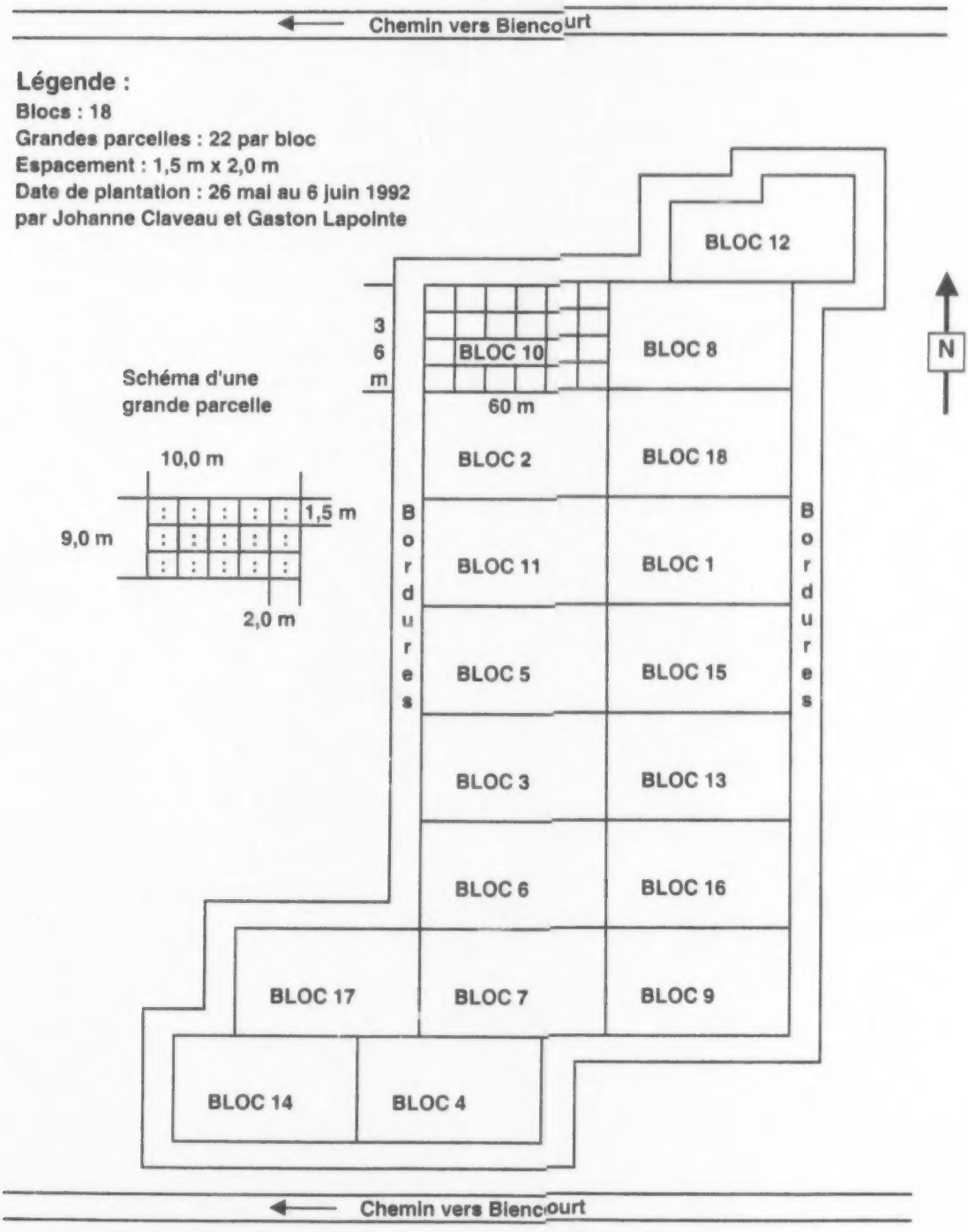
- entretiens complets (dégagement mécanique) en 1993 et 1996 et un entretien localisé en 1994 .
- survie en 1996: 89,2% (*88,7 % en 1997*).
- infestation du charançon du pin blanc sur *2.8 % des arbres* en 1996 (*3,8 % en 1997*).
- autres problèmes identifiés : armillaire et dégâts de neige.
- hauteur moyenne en 1996: 199cm.
- AAM (1994-96) : 44cm; AAC 1997 : 60cm.
- supériorité en hauteur des 5 meilleures provenances sur les témoins : 3,5%.
- provenances supérieures : Auce, Lettonie (REC); Suwalki, Pologne (REC); Istebna, Pologne (POL); Semis + de Proulx, Mauricie (COM) et Gould, Estrie (COM).
- Supériorité (gain génétique) des descendances sélectionnées sur les témoins : 10 à 20% soit de 17 à 35 cm de supériorité selon la descendance par rapport aux témoins (172 cm) et autres descendances testées (171 cm).

Prochaine étape :

- Prise de données (hauteur, diamètre, dommages et déformations) prévue en 2001, analyse des données, sélection des meilleures descendances et des arbres-élites, puis éclaircie à 50%.

Responsables : Gaëtan Daoust, Service canadien des Forêts, Centre de foresterie des Laurentides
Anté Stipanicic et Johanne Claveau, Direction de la recherche forestière, Forêt Québec

Projet : 02113S Épinette de Norvège
test génécologique pour la zone d'amélioration "C"
LAR04592 (E.390.C) Plan général
Unité de gestion Grand-Portage (11)
Secteur Laroche "B"



Site no. 4

Test précoce de descendances d'épinette noire

STM92290

Zone d'amélioration « D », Bas Saint-Laurent et Gaspésie

Le test précoce est l'un des types de plantations expérimentales qui sert à évaluer la qualité génétique des arbres. Puisque la croissance et la forme d'un arbre (phénotype) peut dépendre à la fois de sa constitution génétique (génotype) et de l'environnement dans lequel il pousse, un dispositif statistique approprié comme le test précoce permet d'éliminer mathématiquement l'influence de l'environnement, pour mieux discerner la valeur génétique des arbres.

Dans cette plantation, âgée de 10 ans, on retrouve des descendances obtenues par croisements dirigés. Nous connaissons la généalogie de chaque arbre de la plantation.

Avec le temps, l'évaluation génétique nous permet d'enlever les moins bonnes descendances pour développer une variété améliorée d'épinette noire, dans ce cas pour la zone d'amélioration « D ». La sélection finale sera faite d'après les résultats des tests à long terme en milieu forestier.

Description du test

Pollinisation dirigée : mai 1988
Ensemencement : février 1989
Bouturage : mai 1989

Plantation : mai 1990 : 65 descendances
11 demi-fratries
7 provenances témoins
10 blocs
parcelle de 2 arbres
espacement de 1 m x 1 m
superficie de 0,15 ha

Résultats après 10 années de croissance

Hauteur moyenne	générale	403 cm
	des dix meilleures descendances	452 cm
	des 65 descendances	408 cm
	des 11 demi-fratries	401 cm
	des provenances locales	361 cm
12,7 % de supériorité en hauteur pour les croisements dirigés, par rapport aux provenances témoins.		

Responsables : **Michel Villeneuve et Guildo Gagnon.**
Direction de la recherche forestière
Forêt Québec

L'IMPORTANCE DES PLANTATIONS DANS LA STRATÉGIE D'AMÉNAGEMENT FORESTIER DU GRAND-PORTAGE

TEXTE PRÉSENTÉ EN MARGE DU COLLOQUE
« L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE EN FORESTERIE :
OÙ EN SOMMES-NOUS ? »

Par :
Normand Gendron, ing.f.
et
Paul Miville ing.f.

RIVIÈRE-DU-LOUP, LES 28, 29 ET 30 SEPTEMBRE 1999

Contexte biophysique :

L'unité de gestion du Grand-Portage se situe à la porte d'entrée du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie et donne aussi accès aux provinces maritimes.

Sa superficie est d'environ 9 000 km^2 dont 58 % appartiennent au privé. Elle est imbriquée ça et là de territoire tantôt public tantôt privé, fortement accessible par un réseau routier particulièrement bien développé.

La très grande majorité du territoire y est municipalisé. En fait, on y trouve une soixantaine de municipalités réparties dans 5 MRC. La forêt y occupe une place importante. Elle couvre plus de 80 % du territoire et est presque toute productive et accessible. Répartie sur l'ensemble du territoire, il n'est pas rare de la voir entrecoupée de zones agricole ou urbaine. Chez-nous, le terme « forêt habitée » y prend tout son sens.

Les peuplements sont diversifiés. Plus du tiers de la superficie sont des forêts mélangées, 30 % des feuillus et 20 % des résineux, le reste étant en voie de régénération.

Du point de vue socio-économique, comme plusieurs régions rurales, la population est décroissante; les jeunes préfèrent quitter pour les centres urbains où les perspectives d'emploi leur semblent meilleures.

L'économie est axée sur le secteur primaire (63 usines de sciage et 4 usines de pâte) et les programmes de l'État sont fortement sollicités. Toutefois, les organismes du milieu sont éveillés, structurés et revendicateurs.

Les MRC (municipalité régionale de comté) sont soucieuses de leur développement socio-économique et de décentralisation. Les OGC (organismes de gestion en commun) sont conscients de leur rôle de levier économique (il y en a 5 dans l'unité de gestion). Une unité de gestion où l'aménagement doit être intensif, tant en forêt privée que publique. L'activité économique qui gravite autour de la forêt est cruciale pour la région.

De plus, le territoire n'est pas seulement source de matière ligneuse. On y fait aussi un usage intensif et polyvalent de l'ensemble de ses ressources.

L'aménagement forestier :

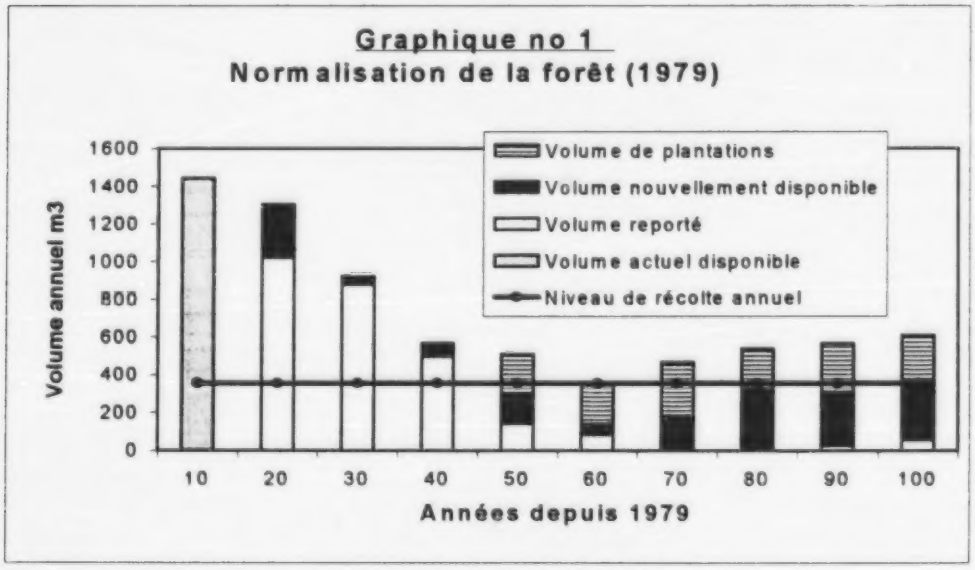
La tordeuse des bourgeons de l'épinette :

Un des éléments marquants des 30 dernières années à l'unité de gestion du Grand-Portage, tout comme ce fut le cas pour une grande partie de la province de Québec, fut l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette. L'impact a été considérable sur la structure des peuplements. Cette forêt serait désormais déséquilibrée dans ses classes d'âge.

En effet, vers la fin des années 60, la troisième épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette du vingtième siècle débutait et évoluait très rapidement jusqu'aux années 1974-1975 pour se stabiliser par la suite. Les dégâts se sont faits sur plusieurs années. De sérieux dommages ont été causés dans notre région puisque les forêts du Bas-Saint-Laurent étaient particulièrement vulnérables aux attaques de l'insecte en raison de leur forte contenance en sapin, essence préférée de la TBE.

C'est d'ailleurs dans notre région qu'en 1977, le ministère des Terres et forêts a concentré ses efforts de protection compte tenu, rappelons-le, de l'importance des emplois reliés à la forêt. Le taux de chômage y a toujours été très élevé, raison de plus pour protéger la forêt, élément important de l'économie régionale.

À cette époque, le niveau de possibilité était de 280 000 m^3 en SEPM en situation d'aménagement extensif. Pour soutenir les options industrielles et sociales, le niveau d'allocation annuel était de 368 000 m^3 en SEPM, l'aménagement intensif devant atténuer cette différence entre l'offre et la demande. La stratégie retenue fut de reboiser 2 000 hectares annuellement (5 000 000 de plants) (voir graphique 1).



Par contre, les impacts de la TBE sur le volume de bois ont été considérables et ont eu pour effet d'abaisser le stock mature et ce, de deux façons. D'une part, une bonne partie du bois affecté sévèrement est mort sur place, d'autre part, le ministère décidait d'augmenter, pour une période de 4 ou 5 ans, le volume de récolte dans le résineux de façon à transformer le plus rapidement possible une partie du bois affecté mais encore utilisable.

Cette hausse a atteint plus de 20 % dans certains cas.

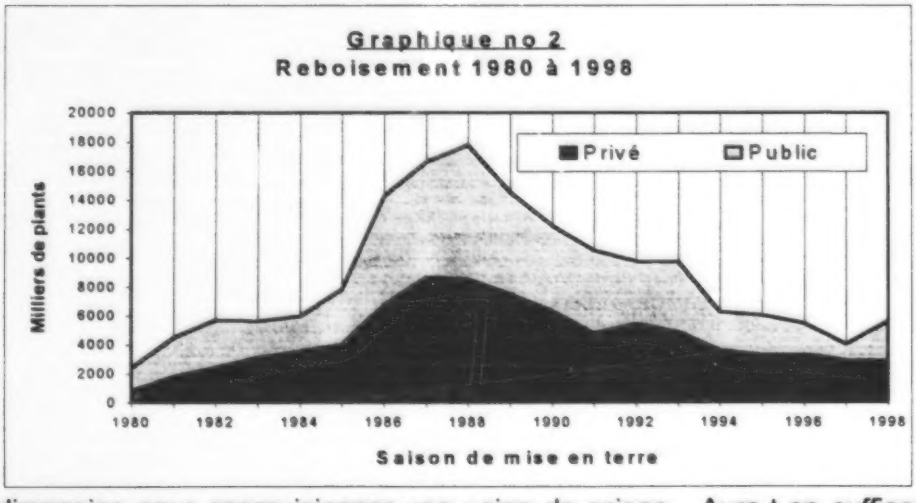
La structure industrielle en place a réagi également en augmentant sa capacité de transformation pour profiter de cette hausse temporaire d'attribution.

L'après tordeuse :

Les constats sont :
1) Stock des inventaires de bois murs réduits;
2) Une structure industrielle de transformation surdimentionnée;
3) Des gens qui veulent continuer de vivre de la forêt.

En 1983, le gouvernement du Québec annonce un vaste programme de création d'emplois et c'est alors que l'objectif provincial de reboisement passe à 300 millions de plants. Dans le cas du Grand-Portage, forêt publique, l'objectif passe de 5 MM à 9 MM d'arbres à reboiser.

Ce niveau d'activité vise à combler les pertes dues à l'épidémie de tordeuse mais aussi à abaisser le niveau de chômage dans la région (voir graphique 2).
Toutefois, il faudra bien 40 à 50 ans avant que ces plantations n'atteignent l'âge ou la



dimension pour approvisionner une usine de sciage. Aura-t-on suffisamment de bois mûr ou en croissance près de la maturité pour supporter le niveau de récolte actuel jusqu'à ce que ces plantations soient prêtes.

Les premiers plans généraux de 1989 nous confirment que non, on a d'une part perdu trop de stock mature et les plantations arrivent trop tard pour qu'on puisse maintenir le niveau de coupe annuelle.

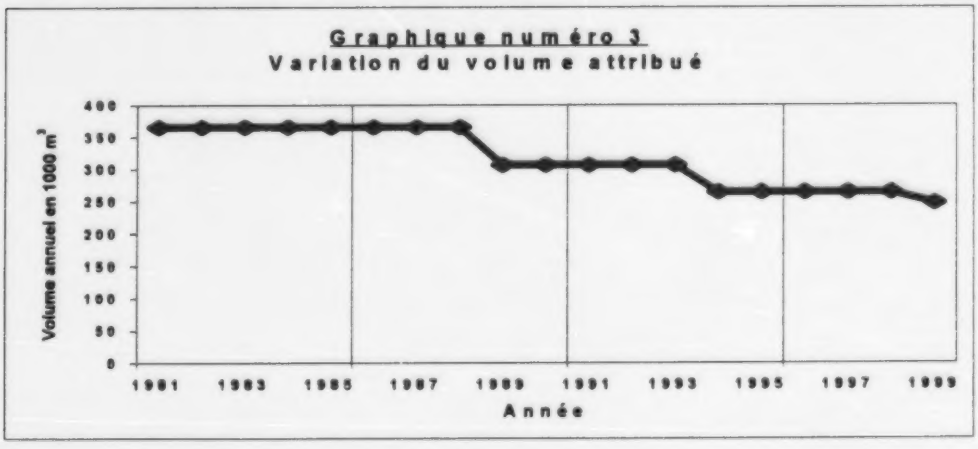
Que faut-il faire alors pour respecter le rendement soutenu ? Faire pousser le bois plus vite ou baisser la récolte annuelle.

Pour faire pousser le bois plus vite, il faut changer la stratégie d'aménagement.

L'éclaircie précommerciale est une avenue intéressante, mais il faudra là encore attendre plusieurs années avant de récolter ces bois.

L'éclaircie commerciale des plantations est l'un des moyens retenu pour soutenir à bout de bras une possibilité annuelle qui maintienne un niveau d'activité économique mais qui est nettement en-deça de la capacité de transformation de la structure industrielle en place.

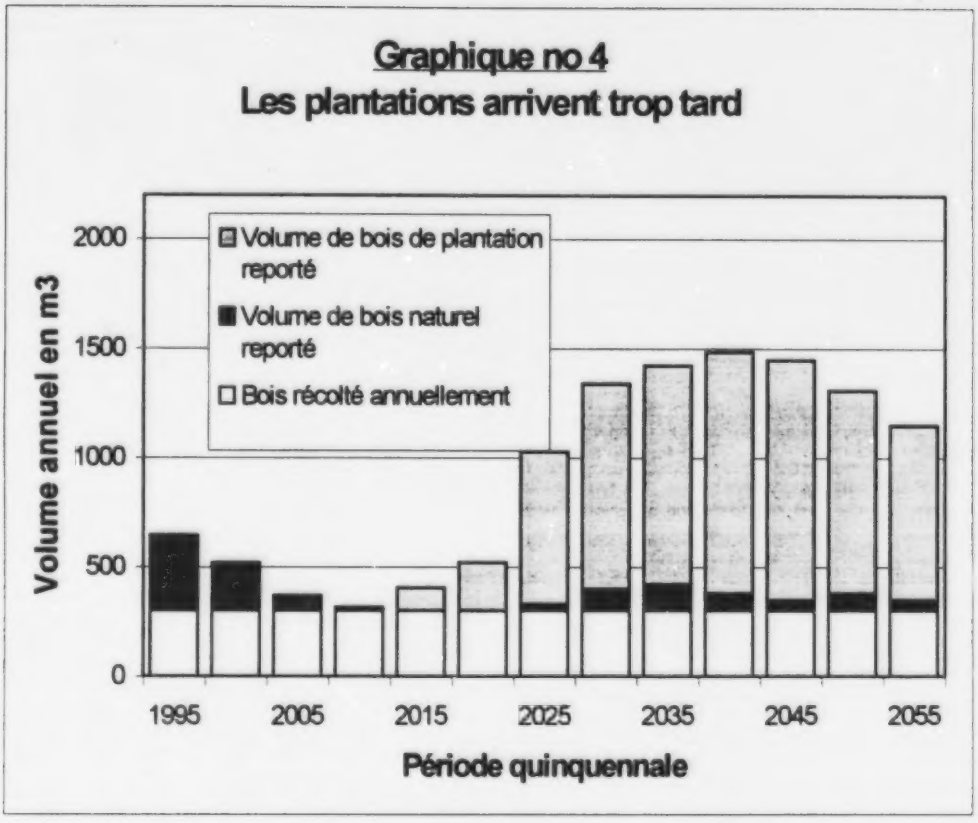
Tour à tour, la révision des plans d'aménagement forestier nous a amené à réduire le niveau de coupe et à se fier de plus en plus à des stratégies audacieuses d'éclaircie commerciale qui approvisionneront des industries du sciage (voir graphique 3).



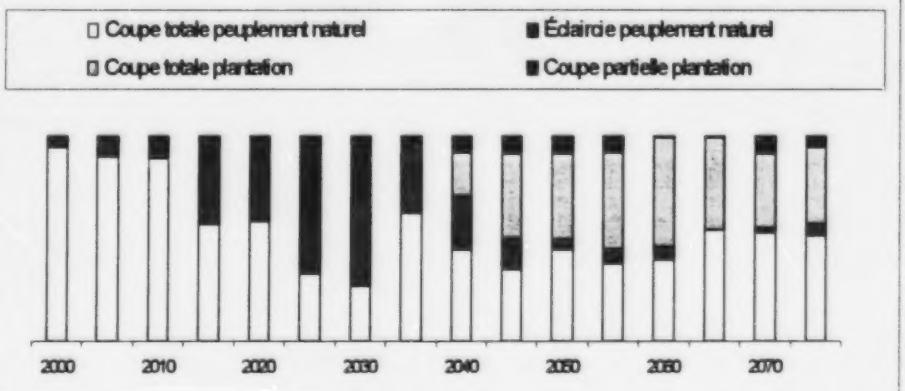
On constate aussi qu'après la période critique, lorsque les plantations atteindront leur maturité, les stocks ligneux atteindront des niveaux qui permettront de doubler la possibilité annuelle de coupe (voir graphiques 4 et 5).

Cependant, les volumes de plantation arrivent trop tard, les stratégies d'aménagement sont très audacieuses. Dans 25 ans, plus de la moitié du volume récolté proviendra d'éclaircie commerciale de plantations ou de peuplements naturels. Ce bois est de petite dimension et pose un défi économique et technologique de taille à l'industrie du sciage.

Graphique no 4
Les plantations arrivent trop tard



Graphique 5
Provenance de la récolte



Conclusion :

La démonstration précédente vient expliquer l'importance des plantations dans la stratégie d'aménagement forestier du Grand-Portage. Des plantations performantes peuvent fortement influencer la possibilité forestière par l'effet combiné d'une baisse de révolution et d'une augmentation de volume.

Deux autres facteurs viennent soutenir l'importance d'avoir des plantations performantes.

En premier lieu, l'interdiction des phytocides en 2001 risque d'affecter la performance des plantations en bas âge. Les sites riches du Grand-Portage sont facilement envahis par le framboisier et l'érable à épis. À cet effet, outre l'utilisation de PFD, l'amélioration génétique peut-elle représenter un outil intéressant permettant aux plantations de dépasser rapidement la compétition ?

En deuxième lieu, les superficies reboisées ces dernières décennies ont probablement été plus considérables qu'elles auraient dû l'être ou qu'elles le seront à l'avenir. Les préoccupations écologiques, souhaitables à tous égards, renforcent de plus en plus le recours à la régénération naturelle dans l'établissement des nouveaux peuplements. On a assisté à une baisse importante des superficies reboisées ces dernières années, nous ne pensons avoir atteint le plateau minimum. On a tout intérêt à ce que les prochaines plantations soient très performantes pour compenser les pertes de superficies reboisées et de là, les pertes de volume que la régénération naturelle ne saura nous donner.

En résumé, l'amélioration génétique peut être un outil majeur pour l'obtention de plantations performantes, lesquelles contribueront à une saine stratégie forestière se traduisent par :

- Un rendement soutenu et accru;
- L'utilisation de moyens exempts de pesticides;
- Un plus grand respect de l'écologie des peuplements.

Les caractéristiques physiques et bioclimatiques de la région

TEXTE PRÉSENTÉ EN MARGE DU COLLOQUE
« L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE EN FORESTERIE :
OÙ EN SOMMES-NOUS ? »

Par :
Jean-Pierre Saucier, ing.f., D.Sc.

RIVIÈRE-DU-LOUP, LES 28, 29 ET 30 SEPTEMBRE 1999

Excursion

Le trajet de l'excursion nous permet de traverser différents paysages dont les caractéristiques physiques et bioclimatiques sont distinctes.

De Rivière-du-Loup à Saint-Alexandre-de-Kamouraska, nous traversons un relief doux de plaines et de coteaux avec une altitude moyenne de 95 m. Il s'agit de la frange littorale du fleuve Saint-Laurent. Les dépôts littoraux marins, accompagnés de dépôts marins argileux ou sableux, dominent le paysage et se présentent souvent comme des crêtes. Des tourbières couvrent les dépôts marins dans les dépressions sur plus de 10 % du territoire. L'utilisation du territoire est surtout agricole et la forêt n'occupe que 30 % de la superficie. La nature de la forêt a été souvent modifiée par l'influence humaine.

Une dénivellation marque le passage à l'unité de paysage régional Lac Morin dont l'altitude moyenne est de 268 m. Le relief doux (pente moyenne de 5%) est formé de coteaux de faible amplitude généralement couverts de till épais. Du till plus mince coiffe les sommets mais le roc sédimentaire y affleure rarement. Les pentes faibles favorisent une bonne représentation des drainages subhydriques et hydriques bien que le drainage mésique représente 50 % des superficies. Une moraine frontale, la moraine de Saint-Antonin, traverse le territoire parallèlement au fleuve.

Ce territoire, comme le précédent, appartient à la région écologique 4f–Collines des moyennes Appalaches (sous-région typique) dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'est. Plus précisément on se situe dans la sous-région écologique 4f-T–Collines et coteaux du lac Pohénégamook. La température moyenne annuelle de cette sous-région oscille autour de 5°C avec une saison de croissance de 170 jours. Les précipitations sont de 900 à 1000 mm annuellement dont 35 % sous forme de neige. La végétation potentielle de la sapinière à bouleau jaune occupe les sites mésiques, surtout en mi-pente et bas de pentes. Les terrains plats, moins bien drainés et souvent plus pierreux sont colonisés par la sapinière à épinette rouge qui occupe aussi les sites aux dépôts plus minces et bien drainés. L'érablière coiffe parfois les sommets lorsque le dépôt n'est pas trop mince mais a presque disparu du

secteur après les grands feux des années 1870 et 1920. L'utilisation du sol est principalement forestière.

À la hauteur du mont Pelletier (ou mont Bleu qui atteint 600 m), le paysage change. Le relief devient un peu plus accidenté avec une pente moyenne de 10%. L'altitude moyenne est de 445 m tandis que l'amplitude moyenne atteint 127 m, soit le double de l'unité de paysage précédente. Le till mince (de 25 cm à 1 m) l'emporte maintenant sur le till épais. Les eaux s'écoulent maintenant vers le sud-est vers le bassin de la rivière Saint-Jean. L'unité de paysage régional Lac Pohénégamook appartient à la même sous-région écologique typique 4f-T mais la végétation potentielle de l'érablière à bouleau jaune y est un peu plus fréquente de même que celle de la sapinière à bouleau jaune. Au sommet des plus hautes collines, au delà de 600 m le bouleau jaune disparaît et la végétation potentielle de la sapinière à bouleau blanc s'établit. L'utilisation du sol est presque exclusivement forestière.

Le village d'Estcourt marque le passage à une autre unité de paysage, celle du Lac Témiscouata. Le relief demeure relativement similaire mais l'altitude moyenne redescend à 305 m et les collines sont entrecoupées de vallées orientées dans un axe nord-ouest–sud-est. Le réseau hydrographique compte plusieurs lacs allongés. Le till mince est le principal dépôt de surface. Cette unité de paysage appartient à une sous-région méridionale (4f-M–Collines du lac Témiscouata) car les érablières y sont plus fréquentes et occupent souvent les sommets ainsi que les hauts versants et renferment parfois du hêtre à grandes feuilles. La végétation potentielle de la sapinière à bouleau jaune partage les mi-versants avec l'érablière à bouleau jaune et occupe aussi les bas de pentes au drainage subhydrique. La sapinière à thuya colonise les sites hydriques minéraux tandis que la cédrière occupe les sols organiques. L'utilisation du sol est avant tout forestière mais l'agriculture (avec des terres souvent en friche) occupe encore 10 % du territoire.

Lorsque l'on quitte le lac Témiscouata en direction de Squatec et de Biencourt, nous traversons l'unité de paysage Lac-des-Aigles. Le relief de collines est sensiblement similaire aux unités précédentes mais les collines prennent souvent la forme de crêtes allongées et l'altitude moyenne est de 345 m. Le till mince et le till épais sont les principaux dépôts mais on trouve aussi des dépôts d'altération au sommet des collines. Cette unité de paysage appartient aussi à la sous-région 4f-T. La végétation potentielle de la sapinière à bouleau

jaune y est abondante. Le calcaire et le conglomérat sont plus fréquents ce qui favorise la présence du thuya dans les sapinières à bouleau jaune et sur les pentes abruptes ou la végétation potentielle de la sapinière à thuya se trouve souvent. L'utilisation forestière domine largement.

Le chemin du retour nous permettra de traverser à nouveau les unités de paysage que nous avons vues à l'aller et d'en découvrir d'autres aspects.

ANNEXE 3

LISTE DES PARTICIPANTS

LISTE DES PARTICIPANTS

Colloque «L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous?»

NOM	ORGANISME	ADRESSE
GREG W. ADAMS	J.D. Irving Limited	181, Aiton Road Sussex East, N.B. E4G 2V5
CLAUDE AERNI	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S. C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
JEAN-YVES ALLARD	Pépinière Sainte-Luce Forêt Québec	C.P. 100 Luceville (Québec) G0K 1E0
RÉGIS APRIL	Forêt Québec - Québec Production des semences et des plants	880, chemin Ste-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
GASTON ARBOUR	Forêt Québec - Caplan	195, Perron Est, C.P. 470 Caplan (Québec) G0C 1H0
LOUIS ARCHAMBAULT	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
SYLVAIN ARÈS	Tembec inc. Division Abitibi-Témiscamingue	495, Route 111 Ouest, C.P. 100 La Sarre (Québec) J9Z 2X4
SIMON BARRETTE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
CHARLES BEAUCHEMIN	Forêt Québec - Montréal	145, Crémazie Est, 8e étage Montréal (Québec) H2M 2V1
ROGER BEAUDOIN	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
JEAN BEAULIEU	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
ANDRÉ BÉGIN	Forêt Québec - Québec	1665, boul. Hamel, Édifice 2 Québec (Québec) G1N 3Y7
JACQUES BÉGIN	AMBSQ	5055, boul. Hamel, Bureau 200 Québec (Québec) G2E 2G6
CLERMONT BELZILE	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy G1V 4C7

KARYNE BENJAMIN	Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)	4101, Sherbrooke est Montréal (Québec) H1X 2B2
MARIE-FRANCE BERNARD	Coopérative forestière des Hautes-Laurentides	395, boul. des Ruisseaux Des Ruisseaux (Québec) J9L 3G6
MICHÈLE BETTEZ	Pépinière forestière de Berthier Forêt Québec	1690, Grande-Côte, C.P. 540 Berthier (Québec) J0K 1A0
ROBERT BETTLE	Ressources naturelles et Énergie	Case postale 6000 Fredericton, N.B. E3B 5H1
MARTIN BILODEAU	Forêt Québec - Rouyn-Noranda Bureau régional, région 08	70, boul. Québec Rouyn-Noranda (Québec) J9X 6R1
SYLVAIN BLAIS	Pépinière Sainte-Luce Forêt Québec	C.P. 100 Luceville (Québec) G0K 1E0
ALAIN BONNEAU	Pépinière forestière St-Modeste Forêt Québec	410, Principale St-Modeste (Québec) G0L 3W0
JEAN BOUSQUET	Université Laval	Université Laval Faculté de foresterie et de géomatique Québec (Québec) G1K 7P4
DENIS BUJOLD	SARGIM INC.	335, boul. Perron Ouest, C.P. 730 New-Richmond (Québec) G0C 2B0
YVES CAISSY	Forêt Québec - Caplan	195, Perron Ouest Caplan (Québec) G0C 1H0
FRANCOIS CARON	Forêt Québec	841, de Maur Sainte-Foy (Québec) G1X 3N2
LISE CHARETTE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
JOHANNE CLAVEAU	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
RAYNALD CLAVEAU	Pépinière Sainte-Luce Forêt Québec	C.P. 100 Luceville (Québec) G0K 1E0
FABIENNE COLAS	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
PIERRE COLLARD	Pépinière forestière de Trécesson Forêt Québec	164, chemin de la Pépinière, C.P. 368 Amos (Québec) J9T 3A7
JEAN-FRANÇOIS CÔTÉ	Consultants forestiers DGR inc.	870, avenue Casot Québec (Québec) G1S 2X9
LISE COULOMBE	Coop. forestière Hautes-Laurentides	395, boul. des Ruisseaux Des Ruisseaux (Québec) J9L 3G6

GERMAIN COUTURE	Forêt Québec - Québec	880, chemin Ste-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
GUY CROTEAU	Forêt Québec - Québec	1297, boul. Charest Ouest Québec (Québec) G1N 2C9
ALAIN DANCAUSE	Pépinière Grandes-Piles Forêt Québec	210, boul. Ducharme Grandes-Piles Québec (Québec) G0X 1L0
GAËTAN DAOUST	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
GEORGES DESCHÈNES	Pépinière Sainte-Luce□Forêt Québec	C.P. 100 Luceville (Québec) G0K 1E0
DENIS DESCOMBES	Louisiana Pacific Chambord	C.P. 40150, route 155 Chambord (Québec)
MARIE DESLAURIERS	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
ANNE DEZIEL	Pépinière forestière de Berthier Forêt Québec	1690, Grande-Côté, C.P. 540 Berthier (Québec) J0K 1A0
LINDA DROUIN	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
FRANÇOIS DUMOULIN	Donohue inc.	801, Chemin St-Louis, bureau 300 Québec (Québec) G1S 4W3
ABDELMALEK ELMESKAOUI	Université Laval Centre de recherche en biologie forestière	Pavillon C.E. Marchand Cité universitaire Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4
MICHEL FORTIN	Forêt Québec - Sherbrooke	200, Belvédère nord, Local 1.05 Sherbrooke (Québec) J1H 4A9
PIERRE GADBOIS	Pépinière forestière de Berthier Forêt Québec	1690, Grande-Côte, C.P. 540 Berthier (Québec) J0K 1A0
CARL GAGNON	Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du B.S.L.	570-L, St-Germain Est, Bureau 103 Rimouski-Est (Québec) G5L 1G4
FRANCIS GAGNON	Forêt Québec - Ste-Anne des Monts	124, 1e avenue Ouest, 10e étage, C.P. 727 Sainte-Anne des Monts (Québec) G0E 2G0
GUILDO GAGNON	Forêt Québec - Sainte-Foy	Complexe scientifique 2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

HERVÉ GAGNON	Forêt Québec - Sainte-Foy	Complexe scientifique 2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
PAUL GAGNON	Forêt Québec - Rimouski	92, 2ième rue ouest Rimouski (Québec) G5M 8B3
SUSAN GAGNON	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
MARCEL GAUCHER	Forêt Québec - Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
MAGELLA GAUTHIER	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
NORMAND GENDRON	Forêt Québec - Rivière-du-Loup	186, rue Fraser Rivière-du-Loup (Québec) G5R 1C8
SERGE GENDRON	Domtar inc.	609, Rang 12C.P. 1010 Windsor (Québec) J1S 2L9
LYNDA GÉNÉREUX	Pépinière forestière de Berthier Forêt Québec	1690, Grande-Côte, C.P. 540 Berthier (Québec) J0K 1A0
JEAN-PIERRE GIRARD	Forêt Québec - Jonquière	3950, boul. Harvey Jonquière (Québec) G1X 8L6
RICHARD GOHIER	Pépinière C.P.P.F.Q.	239a, Côte Ste-Anne Sainte-Anne-de-Beaupré (Québec) G0A 3C0
FERNAND GOSSELIN	Centre d'interprétation et de greffage de Duchesnay - Forêt Québec	143, Route Duchesnay Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier (Québec) G0M 3M0
JACQUES GRENIER	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
ALAIN GUAY	Forêt Québec - Trois-Rivières	100, rue Laviolette, Bureau 207 Trois-Rivières (Québec) G9A 5S9
LUC HOVINGTON	Forêt Québec - Baie Comeau	625, boul. Laflèche, bureau 702 Baie-Comeau (Québec) G5C 1C5
LOUISE INNES	Forêt Québec - Québec	1283, boul. Charest Ouest Québec (Québec) G1N 2C9
NATHALIE ISABEL	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
JEAN-MARIE JOHNSTON	Pépinière forestière de Berthier Forêt Québec	1690, Grande-Côte, C.P. 540 Berthier (Québec) J0K 1A0

LUC JOLICOEUR	Pépinière forestière St-Modeste Forêt Québec	410, Principale Saint-Modeste (Québec) G0L 3W0
AHMED KOUBAA	Forintek Canada	319, rue Franquet Sainte-Foy (Québec) G1P 4R4
PIERRE L'ÉCUYER	Forêt Québec - Québec DPSP	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
CAROLE LABBÉ	Forêt Québec - Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, rue Einstein, Local B.1.190 Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
LUC LABERGE	Forêt Québec - Sainte-Foy	880, chemin Sainte-Foy, 5e étage, Local 5.50 Sainte-Foy (Québec) G1S 4X4
DOMINIQUE LABRECQUE	Forêt Québec - Rouyn-Noranda Région Abitibi-Témiscamingue	70, boul. Québec Rouyn-Noranda (Québec) J9X 6R1
LOUIS LABRECQUE	Forêt Québec - Rimouski	92, 2e rue Ouest, bureau 207-9 Rimouski (Québec) G5L 8B3
LUCIE LABRECQUE	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
CHANTAL LACHANCE	Forêt Québec - Québec	1283, boul. Charest Ouest Québec (Québec) G1N 2C9
DENIS LACHANCE	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
LUC LAFOND	Reboisement Mauricie inc.	848, 4e rang Ste-Étienne-des-Grès (Québec) G0X 2P0
GIL LAMBANY	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, Bureau 5.00 Québec (Québec) G1X 4X4
MOHAMMED LAMHAMEDI	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
DANIELLE LAMONTAGNE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
CHARLES-GILLES LANGLOIS	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
GASTON LAPOINTE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
MARTINE LAPOINTE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
FRANÇOIS LAROCHELLE	Centre de recherche en biologie forestière Université Laval	Pavillon C.E. Marchand Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4

GUY LAROCHELLE	AIFQ	1200, Germain-des-Prés, Bureau 102 Sainte-Foy (Québec) G1V 3M7
PIERRE LAURIN	Forêt Québec - Montréal	145, Crémazie Est, 8e étage Montréal (Québec) H2M 2V1
ROBERT LAVALLÉE	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S, .C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
JACQUES LAVERDIÈRE	Pépinière forestière de Trécesson Forêt Québec	164, chemin de la Pépinière, C.P. 368 Amos (Québec) J9T 3A7
PIERRE LEBLANC	Forêt Québec - Caplan	195, boul. Perron Est Caplan (Québec) G0C 1H0
PATRICK LEMAY	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
FLORENT LEMIEUX	Forêt Québec - Sherbrooke	200, Belvédère nord 1.05 Sherbrooke (Québec) J1H 4A9
SYLVIE LÉPINE	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy Québec (Québec) G1S 4X4
DONATIEN LÉVESQUE	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, bureau 2.50 Québec (Québec) G1S 4X4
JEAN LORTIE	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
PIERRE LORTIE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
MARIA LUCKEVICH	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
SERGE MALENFANT	SER Vallée inc.	108, rue du Noviciat, C.P. 278 Lac au Saumon (Québec) G0J 1M0
LUC MASSE	Forêt Québec - Québec Direction production semences et plants	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
JEAN MÉNÉTRIER	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
MAURICE MICHAUD	Forêt Québec - Hull	170, Hôtel de Ville, Bureau 7340 Hull (Québec) J8X 4C2
PAUL MIVILLE	Forêt Québec - Rivière-du-Loup	186, rue Fraser Rivière-du-Loup (Québec) G5R 1C8
JEAN-MARC MONTMINY	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4

MARIE-JOSÉE MORENCY	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
SERGE MORIN	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3w8
JEAN-PHILIPPE MOTTARD	Agriculture et Agroalimentaire Canada	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
MARIE-JOSÉE MOTTET	Forêt Québec - Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
JEAN NANTEL	Cartons St-Laurent inc.	1053, boul. Ducharme La Tuque (Québec) G9X 3C3
GAÉTAN NUMAINVILLE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
DENIS OUELLET	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
PASCAL OUELLET	Pépinière forestière St-Modeste Forêt Québec	410, Principale Saint-Modeste (Québec) G0L 3W0
ANDRÉ PAILLARD	Fraser Papers Inc.	55, chemin Privé St-Joseph de Madawaska (Québec) E7B 2V1
DANY PAQUET	Centre sylvicole de Forestville	108, rue Noviciat, C.P. 278 Lac-au-Saumon (Québec) G0J 1M0
RENÉ PAQUET	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S, .C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
DENIS PAQUIN	Centre de foresterie de l'Est du Québec inc.	165, St-Luc, C.P. 878 Causapscal (Québec) G0J 1J0
CAROL PARENT	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
GERVAIS PELLETIER	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
PIERRE PÉRINET	Forêt Québec - Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
FRANÇOIS-NOËL PERREAULT	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
MARTIN PERRON	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S, C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
RÉJEAN PERRON	SOMIVAL	108, rue Noviciat, C.P. 278 Lac-au-Saumon (Québec) G0J 1M0

LUCIEN PINET	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
ARIANE PLOURDE	Ressources naturelles Canada Service canadien des forêts	1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800 Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
GHISLAIN R. PLOURDE	Fraser Papers Inc.	27, rue Rice Edmundston, N.B. E3V 1S9
GUY PRÉGENT	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
ANDRÉ RAINVILLE	Forêt Québec - Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
RICHARD RICHARD	Pépinière forestière de Berthier Forêt Québec	1690, Grande-Côte, C.P. 540 Berthier (Québec) J0K 1A0
MICHEL RIOUX	Pépinière forestière St-Modeste Forêt Québec	410, Principale St-Modeste (Québec) G0L 3W0
DANIEL ROBERT	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
ÉRIC ROUSSEAU	Coopérative Laterrière	138, rue Price Ouest, 2e étage Chicoutimi (Québec) G7J 1G8
DANIEL ROUSSEL	Pépinière Sainte-Luce Forêt Québec	C.P. 100 Luceville (Québec) G0K 1E0
LOUISE ROY	Pépinière forestière St-Modeste Forêt Québec	410, Principale St-Modeste (Québec) G0L 3W0
ANDRÉ RUELLAND	Forêt Québec - Baie-Comeau Unité de gestion #93	1290, boul. Laflèche Baie-Comeau (Québec) G5C 3B2
FRANKLIN RUIZ B.	Pépinière de Normandin Forêt Québec	134, chemin Alfred-Villeneuve, C.P. 600 Normandin (Québec) G8M 4S6
DIANE SAUVAGEAU	Pépinière Grandes-Piles Forêt Québec	210, boul. Ducharme Grandes-Piles (Québec) G0X 1L0
ANNE SAVARY	Forêt Québec - Québec - DPSP	880, chemin Ste-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
PIERRE SHINK	Domtar inc.	609, Rang 12, C.P. 1010 Windsor (Québec) J1S 2L9
JACQUES ST-CYR	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1V 2L8
ANTE STIPANICIC	Forêt Québec- Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

ANDRÉ THÉBERGE	Centre sylvicole de Forestville	108, rue Noviciat, C.P. 278 Lac-au-Saumon (Québec) G0J 1M0
KATHY TOSH	Ressources naturelles et Énergie	Case postale 6000 Fredericton, N.B. E3B 5H1
MICHÈLE TOURIGNY	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
DENISE TOUSIGNANT	Forêt Québec - Sainte-Foy Direction de la recherche forestière	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
FRANCINE TREMBLAY	Université Laval Centre de recherche en biologie forestière	Pavillon C.E. Marchard Cité universitaire Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4
FRANCINE TREMBLAY	UQAT	445, boul. de lUniversité Rouyn-Noranda (Québec)
JEAN TREMBLAY	Pépinière de Normandin Forêt Québec	134, chemin Alfred-Villeneuve, C.P. 600 Normandin (Québec) G8M 4S6
BENOIT TRUAX	Comité estrien de recherche sur les feuillus	Centre des médias Collège de Sherbrooke 475, rue du Parc Sherbrooke (Québec) J1H 5M7
RITA TURGEON	Pépinière forestière de Trécesson Forêt Québec	164, chemin de la Pépinière, C.P. 368 Amos (Québec) J9T 3A7
GILLES VALLÉE		124, des Frênes Ouest Québec (Québec) G1L 1G5
PIERRE VEILLEUX	Forêt Québec - Québec	880, chemin Sainte-Foy, 9e étage Québec (Québec) G1S 4X4
MICHEL VILLENEUVE	Forêt Québec - Sainte-Foy	2700, rue Einstein Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

ANNEXE 4

MEMBRES DU COMITÉ ORGANISATEUR DU COLLOQUE

COMITÉ ORGANISATEUR
« L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE EN FORESTERIE : OÙ EN SOMMES-NOUS? »

- FORÊT QUÉBEC
  DIRECTION DE LA RECHERCHE
  FORESTIÈRE

  M^{me} Linda Drouin
  M. André Rainville

- SERVICE CANDIEN DES FORÊTS - QUÉBEC

  M. Clermont Belzile
  M. Gaëtan Daoust

ANNEXE 5

MEMBRES DU GROUPE D'ACTION EN GÉNÉTIQUE ET BIOTECHNOLOGIE DES ARBRES

GROUPE D'ACTION EN GÉNÉTIQUE ET BIOTECHNOLOGIE DES ARBRES

- ☐ AVENORD INC
  Monsieur Michel Auclair
  79, rue Main
  GATINEAU (Québec) J8P 4X6
  Tél. (819) 643-7200, poste 7514
  Fax. (819) 643-7220
  C. élect.

- ☐ MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES
  Direction de la production des semences et des plants
  Monsieur Guy Boulianne
  880, chemin Sainte-Foy, bureau 9.00
  Québec (Québec) G1S 4X4
  Tél. (418) 627-8660, poste 4658
  Fax. (418) 646-9267
  C. élect. guy.boulianne@mrn.gouv.qc.ca

- ☐ PRODUITS FORESTIERS ALLIANCE
  Monsieur Pierre Côté
  3083, des Quatres Bourgeois
  SAINTE-FOY (Québec) G1W 2K6
  Tél. (418) 656-0585
  Fax. (418) 656-0932
  C. élect.

- ☐ CARTON SAINT-LAURENT INC
  Monsieur André Dion
  1053, boulevard Ducharme
  LA TUQUE (Québec) G9X 3C3
  Tél. (819) 523-4531, poste 443
  Fax. (819) 523-9157
  C. élect. diona@stlaurent.com

- ☐ CENTRE DE PRODUCTION DE PLANTS FORESTIERS DE QUÉBEC INC.
  Monsieur Richard Gohier
  239A, Côte Sainte-Anne
  SAINTE-ANNE-DE-BEAUPRÉ (Québec) G0A 3C0
  Tél. (418) 827-4581, poste 27
  Fax. (418) 827-8744
  C. élect. cppfq@sympatico.ca

- ☐ DOMTAR
  Monsieur Émile Audy
  609, rang 12, 2e étage, C.P. 1010
  WINDSOR (Québec) J1S 2L9
  Tél. (819) 845-8543
  Fax. (819) 845-8299
  C. élect. eaudy@ican.net

- ☐ UNIVERSITÉ LAVAL
  Faculté de foresterie et de géomatique
  Monsieur Jean Bousquet
  Pavillon Abitibi-Price
  SAINTE-FOY (Québec) G1K 7P4
  Tél. (418) 656-2127
  Fax. (418) 656-7493
  C. élect. jean.bousquet@rsvs.ulaval.ca

- ☐ PANNEAUX CHAMBORD INC
  Monsieur Denis Descombes
  120, route 155, C.P. 40
  CHAMBORD (Québec) G0W 1G0
  Tél. (418) 342-6212
  Fax. (418) 342-8455
  C. élect.

- ☐ DONOHUE INC
  Monsieur François Dumoulin
  (Coprésident du comité)
  801, chemin Saint-Louis
  QUÉBEC (Québec) G1S 4W3
  Tél. (418) 684-7700
  Fax. (418) 684-7758
  C. élect. gdfr@donohue.ca

- ☐ MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC
  Direction de la conservation des forêts
  Madame Louise Innes
  1283, boul. Charest Ouest
  QUÉBEC (Québec) G1N 2C9
  Tél. (418) 644-0092, poste 29
  Fax. (418) 643-0381
  C. élect. louise.innes@mrn.gouv.qc.ca

2000-03-06

☐ MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES
Direction de la production des semences et des plants
Monsieur Luc Masse
880, chemin Sainte-Foy, 9e étage
QUÉBEC (Quebec) G1S 4X4
Tél. (418) 627-8660, poste 4663
Fax. (418) 646-9267
C. élect. luc.masse@mrn.gouv.qc.ca

☐ PAPIER COMMUNICATION DOMTAR
Monsieur Régis Saint-Amand
609, rang 12, 2e étage, C.P. 1010
WINDSOR (Québec) J1S 2L9
Tél. (819) 845-8400
Fax. (819) 845-8299
C. élect. regis_st-amant@email.domtar.com

☐ MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC
Direction de la recherche forestière
Madame Denise Tousignant
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8
Tél. (418) 643-7994, poste 288
Fax. (418) 643-2165
C. élect. denise.tousignant@mrn.gouv.qc.ca

☐ MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC
Direction de la recherche forestière
Monsieur Michel Villeneuve
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8
Tél. (418) 643-7994, poste 538
Fax. (418) 643-2165
C. élect. michel.villeneuve@mrn.gouv.qc.ca

☐ RESSOURCES NATURELLES CANADA
Service canadien des forêts
Madame Ariane Plourde
Directrice de recherche, biologie forestière
(*Coprésidente du comité*)
1055, rue du Peps, C.P. 3800
SAINTE-FOY (Québec) G1V 4C7
Tél. (418) 648-7616
Fax. (418) 649-6956
C. élect. aplourde@cfl.forestry.ca

☐ TEMBEC INC
Monsieur Daniel Spalding
155, Dallaire, bureau 100
ROUYN-NORANDA (Québec) J9X 4T3
Tél. (819) 797-4782
Fax. (819) 797-4784
C. élect

☐ UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE
Unité rech. & dévelop. Abitibi-Témiscamingue
Madame M.-Francine Tremblay
445, boulevard de l'Université, C.P. 700
ROUYN NORANDA (Québec) J9X 5E4
Tél. (819) 762-0971, poste 2363
Fax.
C. élect. francine.tremblay@uqat.uquebec.ca

☐